

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Návrh konstrukce přípravku pro svařování rámu okna

Design of window frame welding jig

Student:

Bc. Zbyněk Týn

Vedoucí diplomové práce:

prof. Dr. Ing. Ivan Mrkvica

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Zbyněk Týn**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Specializace: 20 Strojírenská technologie  
Téma: **Návrh konstrukce přípravku pro svařování rámu okna**  
**Design of Window Frame Welding Jig**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Problematika svařování hliníku.
2. Popis procesů vhodných pro svařování hliníkových slitin.
3. Návrh svařovacího přípravku a zpracování jeho výrobní dokumentace.
4. Návrh kontrolního přípravku pro svařovanou součást.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení navrženého řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] MRKVICA, M. *Přípravky a obráběcí nástroje - II. díl Přípravky*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1988, 182 s.  
[2] PÍČ, J.; CHVÁLA, B. *Přípravky: výpočet a konstrukce přípravků s příklady ze strojírenské praxe*. Praha: Práce, 1957, 187 s.  
[3] CHVÁLA, B.; VOTAVA, I. *Přípravky*. Praha: SNTL Praha, 1989, 214 s.  
[4] KUBÍČEK, J. *Technologie II - svařování: sylabus díly 1*. [online] Brno, 2006 [cit. 2013-05-16].  
[5] MINAŘÍK, V. *Obloukové svařování*. Praha: Scientia, 1998, 229 s. ISBN 80-7183-119-0.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr. Ing. Ivan Mrkvica**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



  
doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....*12.5.2016*.....

*Bohumír Týn*  
.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 12. 5. 2016



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Zbyněk Týn

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Hradec nad Moravicí,  
Jakubčovice 132

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

TÝN, Z. *Návrh konstrukce přípravku pro svařování rámu okna : diplomová práce.*

Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2016, 51 s. Vedoucí práce: Mrkvica, I.

Diplomová práce se zabývá konstruováním přípravku na svařování okenních rámu kolejových vozidel pro firmu IFE-CR, a.s. na základě modelu a výkresu okenního rámu. V úvodu práce je zahrnut postup výroby okenního rámu s návrhem nástroje pro ohyb profilů. Poté se práce zabývá také různými procesy vhodnými pro svařování hliníkových slitin. Další část popisuje tvorbu svařovacího přípravku. Vysvětluje ustavení a upnutí okenního rámu do přípravku. V poslední části je navržen kontrolní přípravek pro okenní rámy zadaného typu.

## ANOTATION OF MASTER'S THESIS

TÝN, Z. *Design of window frame welding jig,*

Ostrava: Department of machining, assembly and engineering metrology, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2016, 51 s. master's project, supervisor: Mrkvica, I.

The master's thesis deals with designing window frames welding jig for the rolling stock company IFE-CR, Inc. based on the model and drawing of a window frame. The introduction includes the production process of a window frame with a tool design for profile bending. Then the thesis deals with different processes suitable for welding aluminium alloys. The next section describes the creation of welding fixture. The setting and clamping of the window frame into the jig is explained. In the last part a control preparation for window frames of the specified type is designed.

## Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk .....	8
Úvod a cíl diplomové práce .....	9
1 Okenní rám .....	10
2 Představení firmy IFE-CR, a.s. ....	12
3 Postup výroby okenního rámu .....	14
4 Návrh nástroje na ohýbání .....	15
4.1 Průběh ohýbání pomocí nástroje .....	16
4.2 Ohýbací stroj .....	16
5 Způsob svařování rámu .....	17
5.1 Svařovací metoda TIG .....	17
6 Problematika svařování hliníku .....	19
6.1 Výroba hliníkových slitin .....	19
6.2 Vlastnosti hliníku a jeho slitin .....	20
6.2.1 Značení hliníku a jeho slitin .....	20
6.3 Svařitelnost hliníku a jeho slitin .....	21
6.3.1 Pórovitost .....	22
6.3.2 Vznik trhlin ve svaru .....	22
6.3.3 Oxidace slitin hliníku .....	22
7 Popis procesů vhodných pro svařování hliníkových slitin .....	23
7.1 Svařování plamenem .....	23
7.2 Svařování obalenou elektrodou .....	23
7.3 Svařování hliníku třením .....	23
7.4 Svařování tavící se elektrodou MIG/MAG .....	24
7.4 Plazmové svařování .....	26
7.3.1 Výhody svařování plazmou .....	27
7.3 Laserové svařování .....	27
7.3.1 Výhody svařování laserem .....	28
8 Konstrukce svařovacího přípravku .....	29
8.1 Ustavení svařované součásti .....	30
8.2 Vysvětlení použití nerezových podložek .....	32
8.3 Rozbor upnutí svařované součásti .....	33
8.4 Volba materiálů součástí přípravku .....	36
9 Návrh kontrolního přípravku .....	38
10 Technicko-ekonomické zhodnocení svařovacího přípravku .....	40
10.1 Ekonomické informace o svařovacím přípravku [5]: .....	40
10.2 Náklady na seřízení .....	41

10.2 Hospodárnost zařízení [5] .....	41
10.3 Stupeň hospodárnosti zařízení X [5]:.....	41
Závěr .....	42
Seznam použitých zdrojů .....	44
Seznam obrázků .....	47
Seznam tabulek .....	48
Seznam příloh.....	49

## Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	Jednota	Popis
<b>A</b>	[ % ]	Tažnost
<b>C</b>	[ Kč ]	Cena zařízení
<b>CMT</b>	[ - ]	Cold metal transfer (přenos studeného kovu)
<b>CNC</b>	[ - ]	Computer numeric control (číslicové řízení počítačem)
<b>MAG</b>	[ - ]	Metal aktiv gas (kov - aktivní - plyn)
<b>MIG</b>	[ - ]	Metal inert gas (kov - inertní - plyn)
<b>pH</b>	[ - ]	Potenciál vodíku
<b>R</b>	[ Kč/h ]	Režie příslušného pracoviště
<b>Rm</b>	[ MPa ]	Mez pevnosti
<b>Rp0,2</b>	[ MPa ]	Mez kluzu
<b>S</b>	[ Kč ]	Náklady na seřízení
<b>STT</b>	[ - ]	Surface tension transfer (řízené povrchové napětí)
<b>T</b>	[ Rok ]	Počet roku zařízení v provozu
<b>TIG</b>	[ - ]	Tungsten inert gas (elektroda - inertní - plyn)
<b>U</b>	[ Kč ]	Úspora na mzdě za jeden svařenec
<b>WP</b>	[ - ]	Wolframová elektroda
<b>WZ 8</b>	[ - ]	Wolframová elektroda se zirkonem
<b>h</b>	[ % ]	Náklady na údržbu a opravy
<b>k</b>	[ - ]	Součinitel odpisu a srážek
<b>n</b>	[ Ks ]	Počet výrobků za jeden rok



## Úvod a cíl diplomové práce

**Záměrem mé diplomové práce byla snaha o vytvoření konstrukce svařovacího přípravku, pomocí kterého je zajištěno správné a přesné upnutí dvou ohýbaných profilů, mezi nimiž se vznikem svarů vytvoří okenní rám automatických dveřních systémů pro kolejová vozidla. Svařování je prováděno svařovací metodou TIG. Jedná se o svařování wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu. Při svařování okenního rámu je kladen důraz na přesnost a kvalitu, proto jsem volil jistou a spolehlivou konstrukci přípravku.**

Oblast svařování tvoří nedílnou součást pokroku a dalo by se říci, že neustále obklopuje dnešního moderního člověka a prostupuje různými rovinami technického světa, tudíž se dále podrobněji zaměřuji na problematiku svařování hliníku a svařovací procesy vhodné pro svařování hliníkových slitin.

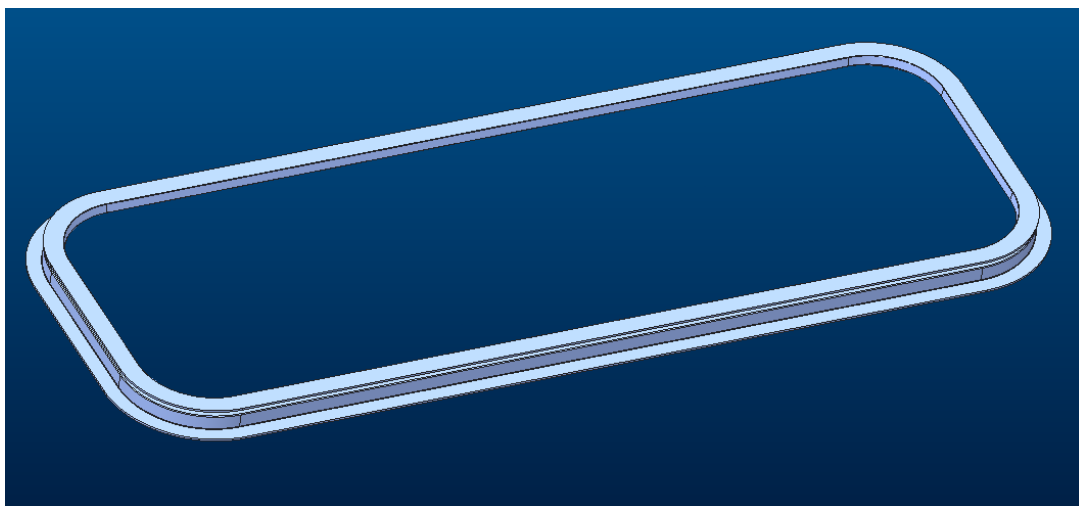
**V práci je zahrnut postup výroby okenního rámu a návrh nástroje pro ohyb profilů. Další kapitola popisuje navrhování svařovacího přípravku. Vysvětluje ustavení a upnutí okenního rámu do přípravku. V poslední části je navržen kontrolní přípravek pro okenní rámy zadaného typu. Kontrolní přípravek napomáhá při měření rozměrů dílců okenních ráků.**



*Obr. 1 Rychlovlak [14]*

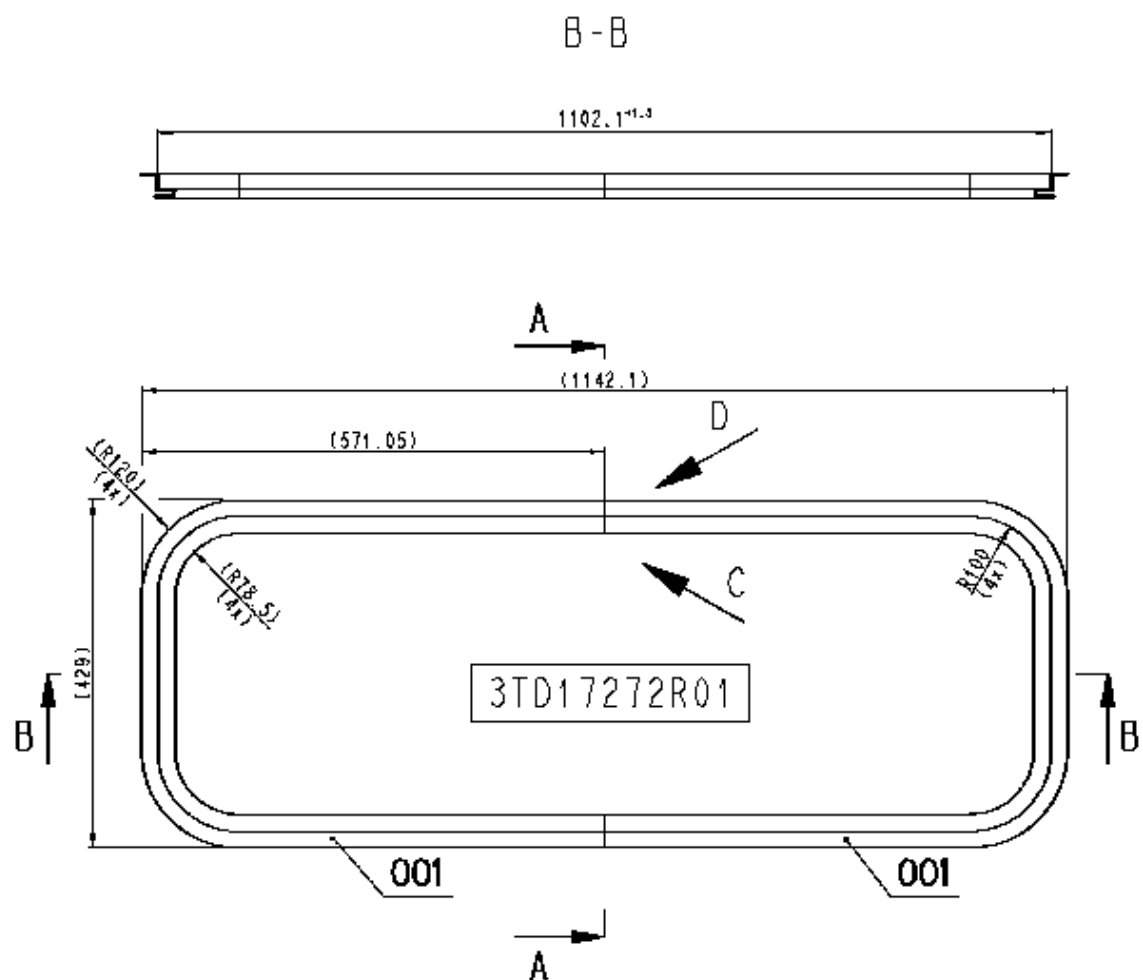
# 1 Okenní rám

Konstrukce okenního rámu je určena pro dveřní křídla automatických dveřních systémů kolejových vozidel. Rámy se mohou lišit podle druhu projektu a technických vlastností, které zákazník požaduje. To může ovlivňovat konstrukci a vlastnosti přípravku. Zadaný druh rámu je složen ze dvou částí, které tvoří dva ohnuté profily. Každý profil je dvakrát ohnut do vnějšího poloměru  $R120^\circ$  [9, 16].

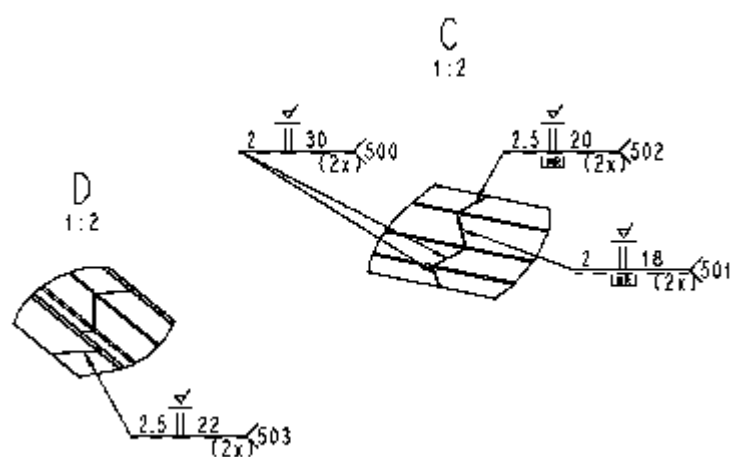


*Obr. 1.1 Model okenního rámu*

Profily jsou k sobě přivařeny tavnou svařovací metodou TIG, tupým svarovým spojem I, spadajícím pod normu EN 15085 – 3, jedná se o normu určenou pro svařování kolejových vozidel a jejich částí. Přídavný materiál je plný drát z materiálu AlMg4,5MnZr pro svařování vysoce pevných slitin hliníku. Tento přídavný svarový kov má dobrou odolnost vůči povětrnostním vlivům a mořské vodě. Materiál rámu je slitina hliníku EN AW-6060-T4 (AlMgSi0,5) vhodná k tváření a svařování [9, 16].



Obr. 1.2 Část z výkresu okenního rámu



Obr. 1.3 Detaily svařů

## 2 Představení firmy IFE-CR, a.s.

Firma IFE-CR, a.s. “Innovations For Entrance Systems” má sídlo v Modřicích na ulici Evropská 839 v okrese Brno. Historie úspěšné značky vznikla ve Vídni pod názvem “Institut für Technische Forschung und Entwicklung” [10, 14].

Firma se zaměřuje na vývoj, konstrukci a výrobu automatických dveřních systémů pro kolejová vozidla. Pro hromadnou dopravu, dálkovou přepravu, vysokorychlostní vlaky vyrábí posuvné, přesuvné a vnitřní mezivozové dveře [10, 14].



*Obr. 2.1 Švýcarský vlak s nástupními systémy IFE jedoucí po Rhétské dráze [10]*

Dalším odvětvím výroby jsou nástupní pomůcky. Mezi zmíněné pomůcky patří nástupní výsuvné rampy pro výstup osob užívajících invalidní vozík, výsuvné plošiny pro usnadnění nástupu všem osobám, kterým by mohl působit problém vznik mezery mezi vozidlem a hranou nástupiště u nízkopodlažních vozidel. Dále sem řadíme sklopná stupátka používaná u vysokorychlostních vlaků a nástupní můstky používané v hromadné dopravě k redukci malých vzdáleností mezi vozidlem a hranou nástupiště [10, 14].

V České republice společnost vznikla v roce 1996 v moderním závodě CTP Modřice, ve kterém pracuje okolo 600 zaměstnanců. Nyní se ve společnosti IFE-CR a.s. provádí také montáž pohonů a schodů. V roce 1997 koupil společnost IFE německý koncern Knorr-Bremse s tradicí sahající do roku 1905. Společnost má hlavní sídlo v Mnichově, je celosvětovým výrobcem brzdících systémů pro železniční a užitková vozidla [10].



*Obr. 2.2 Vlak jezdící napříč Londýnem vybavený nástupními systémy IFE [10]*

Rychlovlaky, pro které firma dodala dveřní systémy, jsou například rychlovlak jedoucí z Mekky do Mediny za necelé dvě hodiny. Díky němu bude usnadněna věřícím návštěva slavného poutního místa Mekka. Trať je dlouhá 450 km [14].

V Evropě je to nejrychlejší vlak jezdící mezi Milánem a Římem, kterému se říká souprava Frecciarossa 1000, tento vlak je schopen jet 400 km/h, omezen je jen italskými tratěmi. IFE pro tento vlak dodalo tlakotěsný nástupní systém a elektrické nástupní plošiny. Dveře obsahují rádius v horní části i pod oknem, z toho plyne, že konstrukce i výroba takového dveřního křídla byla značně náročná [17].



*Obr. 2.3 Frecciarossa 1000, vlak jezdící po trati Miláno-Řím [17]*



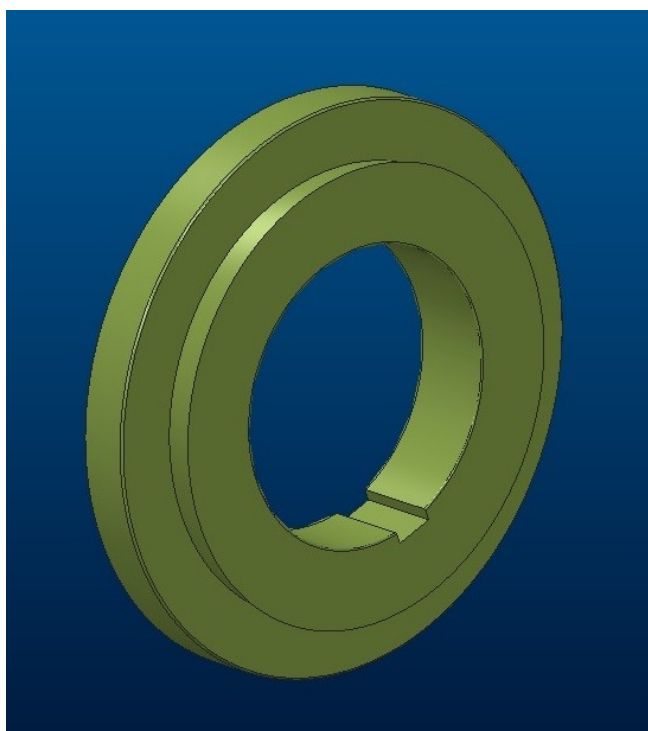
### 3 Postup výroby okenního rámu

Tab. 3.1 Výrobní postup okenního rámu pro dveřní křídlo kolejového vozidla

VÝROBNÍ POSTUP			Název součásti: Okenní rám	Číslo výkresu: TD172727R01
Dne: 18.4.2016	Vyhotoval: Zbyněk Týn		Polotovár: 35x45-1500 EN 755	
Číslo operace:	Název stroje, označení:	Dílňa:	Popis práce v operaci:	Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:
01	Pásová pila ARG 200 Plus 05967	Obrobna	Dělit materiál na délku 1485±0,5	Pilový pás 2490x20x0,9.
02	OTK 09963	Kontrola	Kontrola délky polotovaru 1485±0,5mm.	Kalibr
03	Obráběcí centrum AXA VHC	Obrobna	Upnout obrobek do frézovacího přípravku, zarovnat čela stran na délku 1481±0,1mm.	Čelní fréza M1200D063Z04HN07
03	Obráběcí centrum AXA VHC	Obrobna	Frézovat vrchní část profilu na hrubo.	Rohová fréza hrubovací F4041.B27.063.Z06.13
04	Obráběcí centrum AXA VHC	Obrobna	Frézovat vrchní část profilu na čisto.	Rohová fréza M6800LX12396471600
05	Obráběcí centrum AXA VHC		Obrátit obrobek, frézovat druhou část profilu (spodní) na hrubo.	Rohová fréza hrubovací F4041.B27.063.Z06.13
06	Obráběcí centrum AXA VHC	Obrobna	Frézovat druhou část profilu (spodní) na čisto.	Rohová fréza M6800LX12396471600
07	Obráběcí centrum AXA VHC	Obrobna	Vyfrézovat drážku na hrubo	Drážková fréza hrubovací F2252.BN
08	Obráběcí centrum AXA VHC	Obrobna	Vyfrézovat drážku na čisto	Drážková fréza F4153
09	OhýbačkaZ01	Těžká mechanika	Ohýbání obou konců profilu 1 na vnější poloměr R120	Ohýbačka ZO1
11	OhýbačkaZ01	Těžká mechanika	Ohýbání obou konců profilu 2 na vnější poloměr R120	Ohýbačka ZO1
13	Svařovací centrum PS1	Svařovna	Upneme oba dva profily do svařovacího přípravku. Svařujeme vnější svary a pak vnitřní dle výkresu.	Svařovací centrum PS1, Svařovací přípravek
14	Svařovací centrum PS1	Svařovna	Vyndáme z přípravku, položíme na svařovací stůl, svařujeme zbylé svary.	Svařovací centrum PS1
15	OTK 09963	Kontrola	Kontrola výšky profilu 30mm, kontrola délky svařeného okenního rámu 1142,1mm, kontrola šířky rámu 429mm vše - 100%.	Digitální měřidlo, kontrolní přípravek, kontrolní lišta
16	OTK 09963	Kontrola	Kontrola vizuální 100%,	
17	9913	Balírna	Narovnat výrobek do palet, paletizace.	Palety, kartóny.
18	9924	Sklad	Uskladnění palet.	Vysokozdvizný vozík.

## 4 Návrh nástroje na ohýbání

Ohýbání patří mezi beztržkové obrábění, při kterém dochází k trvalému tvarování materiálu. Ohýbat můžeme jen materiály, které se při ohýbání nepoškodí. V našem případě se jedná o ohýbání slitin hliníku. Konkrétně EN AW-6060-T4 (AlMgSi0,5) materiál s mechanickými vlastnostmi s mezí pevnosti  $R_m = 120$  [MPa], mezí kluzu  $R_{p0,2} = 60$  [MPa] a s tažností  $A = [14\%]$ . Slitina má výborné vlastnosti pro tváření, je svařitelná, odolná vůči korozi. Nástroj na ohýbání je určen pro ohýbání profilu, na kterém mají vzniknout dva vnější rádiusy o  $120^\circ$  [8, 9].



*Obr. 4.1 Model nástroje na ohýbání*

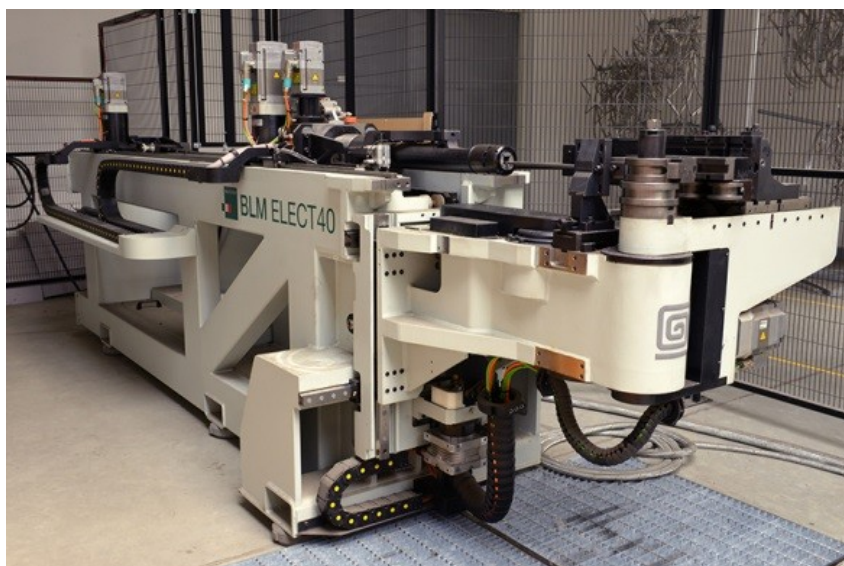
Požívá se jako nástroj pro ohýbací stroj, na kterém se ohýbají různé profily, které nemusí být vyhrazeny jen k ohýbání profilů určených pro okenní rámy, ale také pro profily používané při konstrukci dveří kolejových vozidel, tzv. Längsprofily. Pro každý nový druh profilu je vyráběn nový nástroj na ohýbání nazvaný rolna. Tím se vytváří zásobník ohýbacích nástrojů, a pokud se setkáme se stejným profilem v budoucnu, není potřeba jej znovu vyrábět. Jako materiál jsem zvolil 12 050 (C45), jedná se o uhlíkovou ocel vhodnou na výrobu větších ozubených kol, ojnic, pístnic. Model rolny vidíme výše na obrázku 4.1 a její výkres je umístěn v příloze [12].

## 4.1 Průběh ohýbání pomocí nástroje

Při ohýbání se vrstvy kovu na vnitřní straně ohýbaného materiálu stlačují a na vnější straně natahují. Mezi natahovanými a stlačovanými vrstvami je neutrální vrstva, která se ani nenatahuje, ani nestlačuje. Z toho plyne, že neutrální vrstva je bez napětí a její délka zůstává stejná. Neutrální osa je na začátku uprostřed průřezu ohýbané části a při ohybu se posouvá směrem k vnitřní straně ohybu [13].

## 4.2 Ohýbací stroj

Devítiosý ohýbací stroj s 3D vizuálním programovacím softwarem je určen pro automatické ohýbání profilů z nejrůznějších kovů do libovolně složitých tvarů. Na stroji se provádí tzv. ohýbání s nabalováním. U ohýbacího stroje stačí jedna vyškolená obsluha. K ohýbacímu stroji náleží ovládací panel podobný panelu CNC strojů. Programováním je možné nastavovat a upravovat parametry ohýbání.



*Obr. 4.2 Ukázka ohýbacího stroje [11]*



*Obr. 4.3 Ovládací panel [11]*

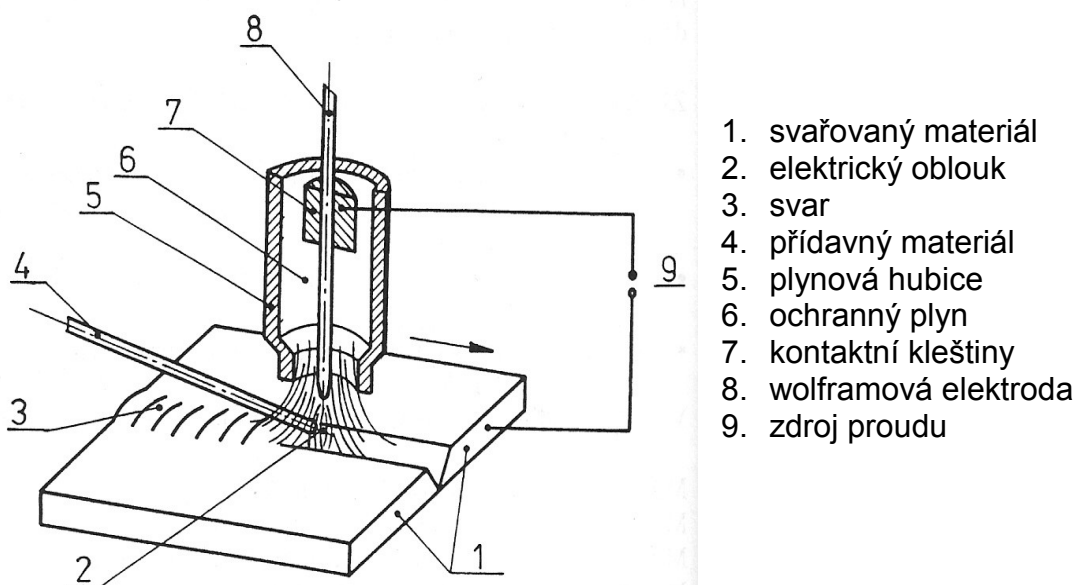


## 5 Způsob svařování rámu

Pro svařování zadaného okenního rámečku se používá metoda Tig. Při svařování hliníku je metoda Tig výhodnější, jelikož se dá lépe kontrolovat tepelné ovlivnění materiálu a svar má lepší vzhled. Metoda Mig je také občas využívána, ale jen v případě, že svar není na viditelných místech, jelikož při svařování hliníku Migem dochází k zakouření svaru.

### 5.1 Svařovací metoda TIG

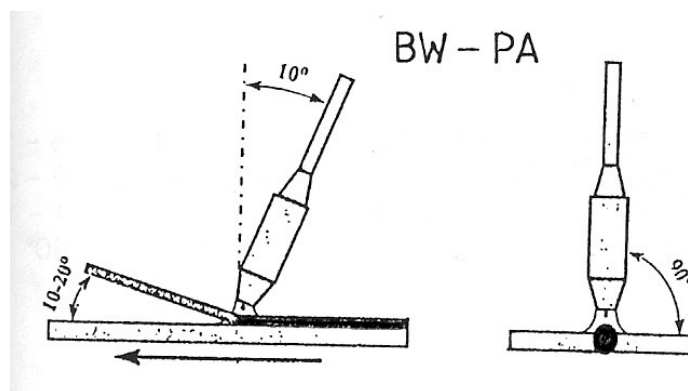
Při svařování metodou TIG hoří oblouk mezi netavící se wolframovou elektrodou a základním materiálem. Wolframová elektroda se vyrábí ze spékaného čistého wolframu bez příměsí a může být legovaná oxidy kovů, jako je thorium, lanthan nebo zirkon. Elektroda má teplotu tavení 3380 °C. Ochranu elektrody i tavné lázně před okolní atmosférou zajišťuje netečný plyn o vysoké čistotě, například argon, helium nebo jeho příměsí. Přídavný materiál (drát) se může dodávat ručně nebo automaticky podavačem drátu s proměnnou rychlostí jeho podávání. Přídavné materiály doplňují objem svarového kovu, mohou legovat svarový kov přísadami pro zlepšení vlastností svaru, dodávají do svarového kovu přísady zajišťující dezoxidaci a odplynění, zlepšují formování svaru. Pro svařování hliníku a jeho slitin se používá svařování střídavým proudem. Tato metoda má čisticí účinek při kladné polaritě elektrody. Čisticí účinek pomáhá k odpaření oxidů [18, 15].



Obr. 5.1 Princip svařování netavící se elektrodou v inertním plynu – TIG [18]

Při svařování metodou TIG inertní plyn zabraňuje propalu prvků a tím i vzniku strusky, a zabezpečuje ochranu svarové lázně. Mezi další výhody patří příznivé formování svarové housenky, stabilní elektrický oblouk, přesná regulace svařovacích parametrů, svary mají malou tepelně ovlivněnou oblast a minimální deformaci. Přesné dávkování vneseného množství tepla při svařování hliníkových slitin je v našem případě výhodné.

Ruční svařování TIG je stále velmi používaná metoda, hlavně když potřebujeme svar s velmi dobrými vlastnostmi, výborným povrchem a vysokou čistotou jako v našem případě. Technika ručního svařování charakterizuje polohu, pohyb hořáku a přídavného materiálu vzhledem ke svarové lázni. Metodou TIG můžeme svařovat ve všech polohách. V základní poloze je sklon hořáku v podélné ose cca  $10^\circ$  vzad a úhel sklonu tyčky okolo  $80^\circ$  vpřed od kolmice v místě hoření oblouku. Základní poloha je znázorněna na obr. 5.2. Polohování hořáku a přídavného materiálu se mění dle typu svaru, polohy, směru svařování či dostupnosti svaru.



Obr. 5.2 Základní poloha svařování metodou TIG [18]

Doporučení pro svařování kovových materiálů při svařování hliníku tloušťky do 2,5 mm je použití střídavého proudu a typ elektrody WP, WZ 8. Při svařování hliníku a jeho slitin o tloušťce nad 2,5 mm je doporučení stejné. WP je elektroda skládající se z čistého wolframu. WZ 8 znamená, že wolframová elektroda je legovaná 0,8%  $ZrO_2$ . Zirkon minimalizuje tvorbu wolframových vměstků ve svarovém kovu. Konkrétní doporučení pak vypadá tak, že se používá střídavý proud o frekvenci 40 až 250 Hz a inertní plyn Ar nebo Ar + 25–75% He. Do tloušťky 5 mm se tupé svary svařují bez úkosu a bez mezer. Větší tloušťky se upravují do „V“ úkosu a úhlem rozevření okolo  $80^\circ$ . Hodnota proudu se volí cca 40 až 60 A na 1 mm tloušťky materiálu. Průměr přídavného drátu se u tenkých plechů rovná tloušťce svařovaného materiálu a jeho složení je doporučeno z AlMg5 tak, aby byl odolný vůči trhlinám za tepla. Pro AlSi slitiny je vhodný přídavný materiál AlSi3. [15]

## 6 Problematika svařování hliníku

### 6.1 Výroba hliníkových slitin

Hliník je v přírodě jedním z nejrozšířenějších kovů. Základní surovinou pro výrobu hliníku je bauxit. Obsah  $\text{Al}_2\text{O}_3$  v bauxitu bývá kolem 50 %. Z bauxitu se hliník získává elektrolýzou. Slitiny hliníku se vyrábí v tavicích pecích. V tavicích pecích se kov ohřívá přibližně na technologickou lící teplotu, provede se úprava chemického složení, rafinace a odplynění. Při přelévání z tavicí pece do transportních pánví se často tavenina filtruje keramickými nebo tkanými filtry. Při procesu tavení bychom měli dávat pozor, aby vznikala co nejmenší oxidace a naplynění kovu a zamezilo se místnímu přehřívání taveniny [19].

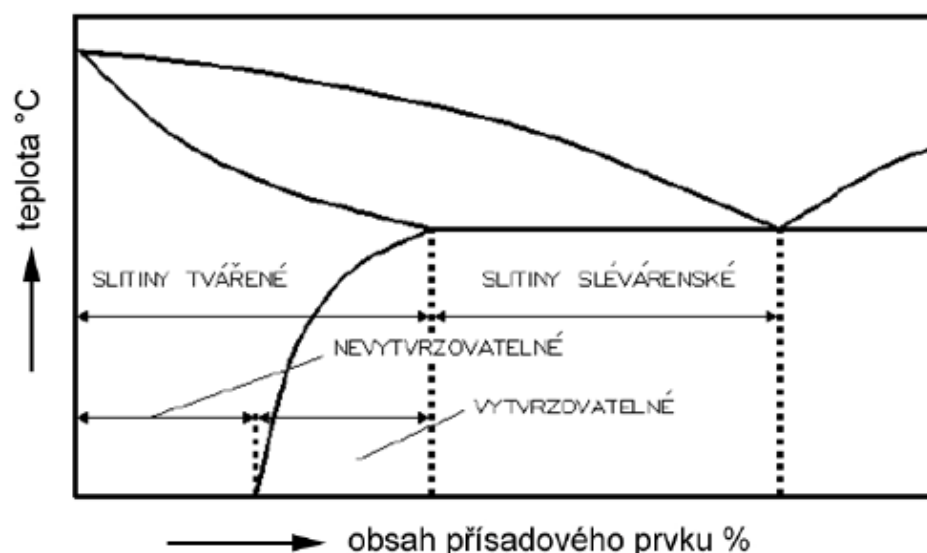
Aby vznikly slitiny hliníku, přidávají se do taveniny přísadové prvky zvyšující mechanické a technologické vlastnosti. Výsledné vlastnosti slitin jsou dány množstvím a vzájemnou kombinací přísadových prvků. Základní prvek udává typ slitiny. Základním prvkem hliníkových slitin je hliník. Slévárenské slitiny hliníku obsahují obvykle 85–93 % Al. Hlavní přísadové prvky určují druh hliníkové slitiny. Ve slévárenských slitinách hliníku jsou hlavními přísadovými prvky křemík, měď a hořčík, jen výjimečně také zinek nebo mangan. Při tavení hliníkových slitin se obvykle provádí kontrola chemického složení, teploty roztaveného kovu a naplynění [20].

Tab. 6.1 Fyzikální a mechanické vlastnosti čistého hliníku [21]

NÁZEV	Hodnota/Jednotka
Teplota tání	660 °C
Hustota	2,375 [ $\text{g cm}^{-3}$ ]
Elektrická vodivost	$37,7 \cdot 10^6$
Tvrdost podle Brinella	245 [MPa]
Modul pružnosti v tahu	70 [GPa]
Součinitel délkové roztlačnosti	$23,6 \cdot 10^{-6}$ (1/K)

## 6.2 Vlastnosti hliníku a jeho slitin

Hliník patří mezi lehké kovy s velmi dobrou tvářitelností za studena, odolností proti korozi, vysokou tepelnou a elektrickou vodivostí. Jeho odolnost proti korozi způsobuje tloušťka oxidické vrstvy, která se vytváří na povrchu materiálu. Tloušťka vrstvy se dá v některých případech zvyšovat eloxováním. Teplota tavení čistého hliníku je okolo 660°C. Nejvíce vlastnosti hliníku ovlivňuje jeho čistota. Při běžné výrobě hliníku lze získat tzv. technicky čistý elektrovodivý hliník s čistotou 99.5 %. Hlavními nečistotami v hliníku jsou železo a křemík. Vlastnosti hliníku ovlivňují legující prvky, přidáním těchto prvků vznikají slitiny hliníku. Základní dělení podle zpracování slitin hliníku je na tvářené a slévárenské. Tvářené se dělí podle způsobu tepelného zpracování na nevytvrzovatelné a vytvrzovatelné. Schematické rozdělení slitin hliníku můžeme vidět níže na obr. 6.1 [7].



Obr. 6.1 Rozdělení slitin [7]

### 6.2.1 Značení hliníku a jeho slitin

Převážně se při značení hliníku a jeho slitin pro tváření používá evropská norma dle ČSN EN 573-1,2 a 3. Značení začíná písmeny EN a AW (A = hliník / W = tvářené slitiny) a končí čísly, která určují chemické složení slitiny, např. EN AW 1050 znamená chemicky Al 99,5%, tedy téměř čistý hliník. Rozlišujeme osm základních skupin slitin hliníku, od skupiny 1000 označující čistý hliník až po skupinu 8000 – slitina hliníku s různými prvky, převážně s lithiem. [33]

### 6.3 Svařitelnost hliníku a jeho slitin

Svařitelnost je schopnost materiálu vytvořit za určitých podmínek svarový spoj požadovaných vlastností. Svařitelnost hliníku je ovlivněna oxidickou vrstvou  $Al_2O_3$ , která se nachází na povrchu materiálu. Tato vrstva má schopnost zabraňovat metalickému spojení základního a přídavného materiálu. Proto se před svařováním musí tato vrstva odstranit, například pomocí čisticích prostředků chemických, mechanických a fyzikálních. Když hovoříme o chemickém čištění, myslíme tím různé mořicí a oplachovací lázně před svařováním. Další možností je použití vhodných tavidel rozpouštějících oxidickou vrstvu během svařování, např. tavidlo složené z chloridu draselného, chloridu sodného, chloridu lithného, fluoridu draselného a síranu sodného. Při odstraňování mechanickém se používá nerezový ruční či strojní kartáč a je potřeba začít svařovat ihned po odstranění vrstvy, protože vrstva díky vysoké afinitě ke kyslíku se za určitou dobu obnoví [7].



*Obr. 6.2 Svařování hliníku [23]*

Hliník má vysokou tepelnou vodivost, kvůli níž je potřeba použití vyššího příkonu při svařování a předehřevu. Předehřev se používá od 150 až 300 °C. Při svařování hliníku je svarový kov náchylný na vznik trhlin za horka. Tepelné ovlivnění materiálu můžeme minimalizovat vhodnou technologií svařování. Je potřeba si také dát pozor na vysokou rozpustnost plynů v hliníku způsobující pórovitost. Pro zamezení pórovitosti je potřeba zamezit přístupu vzduchu ke svarové lázni ať už vhodným tavidlem, nebo ochrannou atmosférou [22].

Při svařování hliníkových slitin nastává několik jevů, které ovlivňují tvorbu svarového spoje a mění jeho výslednou pevnost a vnitřní strukturu.

### **6.3.1 Pórovitost**

Pórovitost svarů způsobuje vnik vodíku do svaru. Vodík ve svarovém kovu pak může zapříčinit necelistvost typu pórů, bublin a ve výjimečném případě i vznik trhlin. Při tuhnutí hliníkového kovu nedojde k úplnému vyloučení vodíku ze svarového kovu kvůli klesající rozpustnosti vodíku v hliníku. Určité procento vodíku zůstane ve svaru. V pevném plastickém hliníkovém svaru poté vyvolá vylučující se vodík póry a bubliny. Omezení vodíku ve svarovém kovu můžeme zajistit minimalizováním zdroje vodíku před svařováním, zkrácením času přímého tavení svarového kovu a zabráněním přehřátí svarového kovu, použitím vhodné plynové, struskové nebo tavidlové ochrany svarové lázně [30].

### **6.3.2 Vznik trhlin ve svaru**

Výskyt solidifikačních trhlin je způsoben krystalizací, tepelnou vodivostí a tepelnou roztažností hliníku. Hliník má oproti oceli dvakrát vyšší tepelnou roztažnost, a to způsobuje, že tuhnoucí svarová lázeň zapříčiňuje napětí ve svaru. Aby se zamezilo trhlinám, doporučuje se svařovat s malým tepelným příkonem, s použitím nejmenšího počtu housenek a je příhodné vytvářet co nejmenší tavnou lázeň. Je potřeba vhodně volit přídavný materiál a předeřev. Vybrat správnou technologii svařování, která umožní velkou rychlost svařování. Neprovádět svařování při tuhém upnutí svarových spojů [30].

### **6.3.3 Oxidace slitin hliníku**

Přítomnost zoxidované vrstvy hliníku na povrchu základního materiálu ovlivňuje pevné spojení základního a přídavného materiálu. Teplota tání oxidu je vyšší než teplota tání hliníku a je 2050 °C. Takový oxid je pak netavitelný v procesu svařování. Před svařováním je potřeba oxidickou vrstvu odstranit mechanicky nebo chemicky a během svařování pomáhá proti vytvoření oxidické vrstvy svařování v ochranné atmosféře. Takový účinek má metoda svařování MIG a fázově též střídavý oblouk svařování metodou TIG. Doporučuje se svařovat ihned po odstranění oxidu, protože oxid má tu vlastnost, že se na povrchu ihned tvoří znovu [30].

## **7 Popis procesů vhodných pro svařování hliníkových slitin**

Pro svařování hliníkových slitin se nepoužívá jen metoda netavicí se elektrodou TIG, ale také spousta jiných svařovacích procesů, které jsou například vhodné pro svařování hliníku v jiných případech, než je tomu u našeho okenního rámu.

### **7.1 Svařování plamenem**

Nejčastěji se používá kyslíko-acetylenový neutrální až mírně redukční plamen. Když vybíráme svářecí hořák, uplatňujeme stejná pravidla při svařování hliníku, která dodržujeme i při sváření oceli. Bez přídavného materiálu lze svařovat lemové a tupé spoje plechů malých tloušťek. Očišťování se doporučuje provádět drátěným kartáčem z nerez oceli, a neměl by se využívat na jiné materiály. Svařování plamenem se dnes používá pouze pro svařování tenkých plechů. Z důvodu správného odstranění strusky, musí být svarové spoje přístupné z obou stran [7].

### **7.2 Svařování obalenou elektrodou**

Technologie ručního svařování hliníku obalenou elektrodou se příliš neliší od svařování ocelí. Tato metoda se při svařování hliníku spíše používá při opravách a údržbě. Oproti svařování plamenem má svařování obalenou elektrodou výhody, jakými jsou vyšší efektivnost s nižším tepelným ovlivněním materiálu. Obal elektrody při hoření uvolňuje plyn, který zamezuje přístupu vzduchu ke svarové lázni. Obsahuje prvky rozpouštějící oxidickou vrstvu na povrchu svařovaných součástí. Obal elektrody stabilizuje oblouk a vytváří odstranitelnou strusku. Obloukové svařování hliníku obalenou elektrodou se používá v největší míře při opravách [7].

### **7.3 Svařování hliníku třením**

Svařování třením je velmi efektivní metoda při velkosériové výrobě, původně určena pro svařování rotačních součástek. Rotací a současným přitlakem k sobě dochází k vytváření tepla. Materiál se díky tlaku a teplu přemění do plastického stavu a nástroj vytváří spoj. Během svařování dochází ke vzniku výronku, který se ve většině případů odstraňuje. Ve svarech nevzniká lící struktura jako u tavného svařování, kdy nevýhodami jsou např. hrubozrnná struktura, vznik trhlin za tepla, bublinatost, pórovitost a propal prvků [31].

## 7.4 Svařování tavící se elektrodou MIG/MAG

Je to svařování v ochranné atmosféře, při které je svar chráněn aktivním plynem. Jedná se o nejznámější druhy svařování a dalo by se podotknout, že také patří mezi nejpoužívanější. Užívají se pro svařování velkých součástí náročných na pevnost a těsnost svarů u nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Od různých svařování potrubí až po velké projekty sloužící k dopravě velkých součástí. Dalším zvýhodněním k metodě MIG/MAG patří velké rozhraní přídavných materiálů a ochranných plynů, začlenění svařování do robotizace [7].

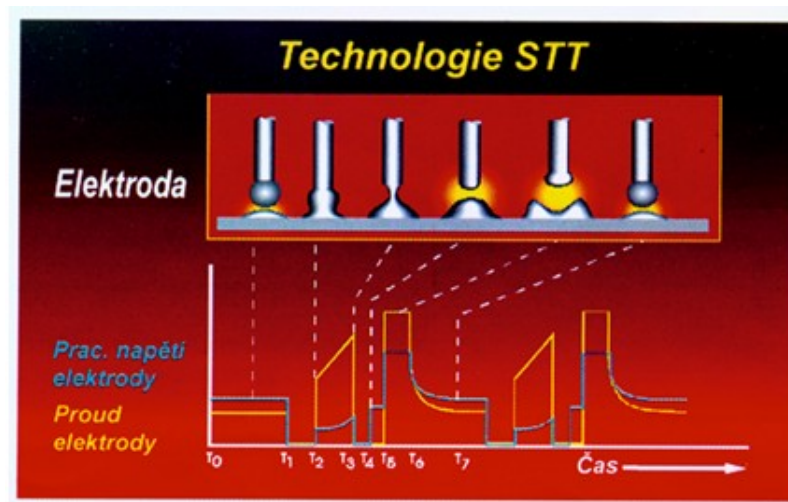


*Obr. 7.1 Svařování MIG[24]*

Pro aktivaci svařování MIG/MAG je potřeba elektrického oblouku mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základním materiálem. Pro vylepšení metody je vháněn inertní nebo aktivní plyn, který působí jako ochranná atmosféra. Elektrický proud vznikne po dotyku napájeného drátu se svařovaným materiálem. Při tomto svařování se dosahuje vysoké proudové hustoty až  $650 \text{ A.mm}^{-2}$  [7].

Pro svařování hliníkových slitin jsou vhodné nové speciální metody svařování MIG/MAG, mezi ně patří svařování metodou STT – SURFACE TENSION TRANSFER. Jedná se o plně řízený proces, který řídí systém zdroje proudu a parametry svařování. Taký se mu říká svařování s přenosem kovu. Vše je založeno na snímání změny napětí v čase zvláštní externě připojenou sondou, tzv. detektorem  $dV/dt$ . Proces kontroluje a řídí obvod snadného svařování, který porovnává hodnoty na oblouku s hodnotami v paměti. Výhodou procesu STT je možnost použití oxidu uhličitého, nízká hodnota vneseného tepla, jednoduché nastavování svařovacích parametrů a není potřeba brousit svary. Využívá se na svařování nelegovaných, nízkolegovaných a vysokolegovaných ocelí. [34]

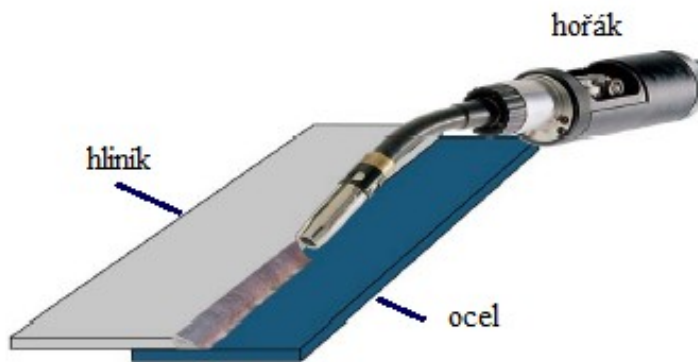




Obr. 7.2 Průběh svařovacího proudu a napětí při STT svařování [34]

Technologií STT svařujeme velké rozměry mezi materiálem a bez rozstříku. Obsluha provede pouze základní nastavení zdroje a zbytek svařovacího cyklu se řídí podle skutečných parametrů na oblouku. Obsahuje paměť nastavených svářecích procesů, takže vzniká snadné střídání pracovníků na stroji i jednoduchá kompatibilita při změně pracovního postupu. STT není tolik časově náročné jako např. TIG a manipulace svářecí technikou je jednodušší. Při testování bylo svařování STT o jednu třetinu rychlejší než TIG. Umožňuje použití v jakékoliv poloze, zanechává méně kouře, rovněž školení pracovníků, kteří se seznamují s touto metodou svařování, je jednodušší. [34]

Mezi další, novou speciální metodu svařování MIG/MAG patří CMT – COLD METAL TRANSFER – proces svařování MIG/MAG krátkým zkratovým obloukem. Proces CMT dokáže spojovat materiály, jako jsou tenké hliníkové plechy okolo 0,8 mm rychlým procesem bez podkládání. Je důležitý hlavně pro mechanizované a robotizované pracoviště, kterým nabízí výbornou stabilitu oblouku a spolehlivost. Metoda je kombinací tavicí se elektrodou v ochranné atmosféře spolu se studenou částí procesu. Tavicí drát se po spojení s tavnou lázní vrací do hubice. Vše je řízeno procesorem, který přizpůsobuje rychlost zpětného pohybu drátu, vzdálenost i rozměr housenky. Díky COLD METAL TRANSFER nevznikají velké tepelné rozdíly a deformace. Nová modifikace svařování se především používá v automobilovém průmyslu při pájení pozinkovaných plechů a všude tam, kde je potřeba spojování tenkých konstrukcí. Při svařování tenkých hliníkových plechů je těžké dosáhnout správného svaření bez přetavení materiálu, tato metoda umožňuje spojení malých částí bez poškození a s minimálním rozstříkem. [35]



Obr. 7.3 Princip spojování CMT [35]

Metoda CMT umožňuje svařování tenkých plechů, může provádět svarové i pájené spoje. Proces je soustředěn na nastavitelný vnos tepla. Zaměřuje se hlavně na tvorbu a dokonalost spojů. Svařuje se bez nežádoucích rozstříků, což umožňuje vysoké podávací rychlosti drátu. Můžeme spojovat materiály s velkou šířkou mezery. Je umožněno nastavovat více parametrů pro tavnou lázeň a také ji kontrolovat kvalitněji v průběhu tavby. Vylepšení šlo také cestou hospodárnosti při svařování různorodých materiálů, nejen ocel a hliník, ale také materiály s povrchovou úpravou. Ukázka svařování metodou CMT je na obrázku 7.3 [35].

#### 7.4 Plazmové svařování

Plazmové svařování patří mezi svařování s vysokou koncentrací tepelné energie na jednotku plochy. Je vhodné na svařování různých druhů slitin, mezi které patří i slitiny hliníku. Toto svařování šetří spotřebu energie použitou na jednotkovou délku svaru. Při přenosu energie vyšší než  $10^5 \text{ W.cm}^{-2}$  dochází k rychlému ohřevu kovu na teplotu varu. Pro vznik plazmy je zapotřebí ionizace plynu, u které dojde k uvolnění elektronů z vnějších valenčních orbitů atomů. Uvolněné elektrony mají záporný náboj a vedou v plazmě elektrický proud [3, 28].

Tato metoda se používá hlavně pro svařování ušlechtilých materiálů v průmyslech, jako je jaderný, chemický, letecký a automobilní. Při svařování dílů kolejových vozidel by mohlo být plazmové svařování časem také zavedeno. Bezpečnost svařování plazmou se týká velkých teplot s ultrafialovým zářením, dále je nutné dávat pozor na ochranu sluchu, kde může hlučnost dosáhnout až 120 dB a rovněž je zapotřebí dokonale odsávat zplodiny [32].

### 7.3.1 Výhody svařování plazmou

Svařování plazmou umožňuje použití vyšších rychlostí svařování oproti MIG a TIG. Méně ovlivňuje tepelnou oblast, z čehož vyplývá, že způsobuje menší deformace. Svarové plochy jsou jednoduché na úpravu. Vynikající průvar a tvar svaru zajišťuje kvalitní svar s vysokou čistotou svaru bez pórů, bublin a s dobrými mechanickými vlastnostmi spoje. Při svařování plazmou můžeme používat střídavý a impulsní proud [3].

### 7.3 Laserové svařování

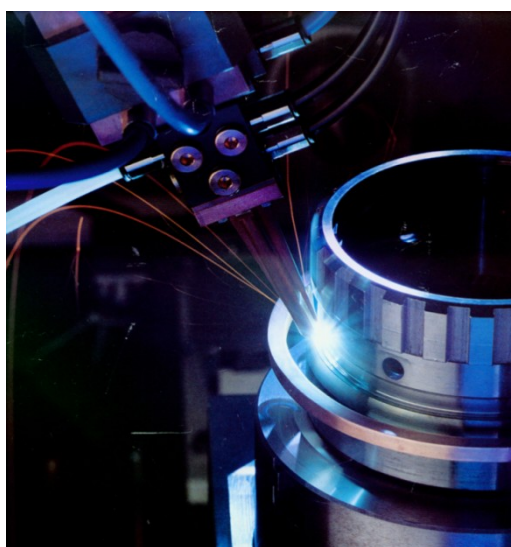
Mezi nejmodernější svařovací procesy vhodné ke svařování hliníku patří také laserové svařování. Laserový paprsek je výjimečný přesně definovanou vlnovou délkou a směrovostí. Vlnová délka ovlivňuje velikost stopy laseru a absorpci. Směrovost umožňuje zaměření paprsku do velmi malého místa. Lasery můžeme dělit na pevnolátkové, plynové, kapalinové, polovodičové. Pevnolátkové lasery jsou nenáročné na údržbu a jejich vlnová délka se pohybuje v oblasti infračerveného až viditelného světla. U plynových laserů se paprsek generuje v plynném prostředí, kterým je nejčastěji  $\text{CO}_2$ , He nebo  $\text{N}_2$ . Ke světelné emisi dochází přivedením dostatečně vysokého napětí na elektrody nacházející se uvnitř trubice s plynem. Kapalinové lasery mají aktivní prostředí složené z roztoků organických barviv a ve strojírenství tento typ laseru nenašel uplatnění. Polovodičové lasery patří mezi nejnovější lasery. Výhodou polovodičových laserů je možnost regulace výkonu a vlnové délky pomocí změny elektrického proudu [28, 29].



Obr. 7.4 Robotizované svařování karoserie automobilu plynovým laserem [28]

Laserové svařování je vhodné pro svařování hliníku a je využíváno hlavně pro svařování dílů, u kterých je kladen důraz na vysoké svařovací rychlosti, přesný, kvalitní svar bez trhlin, nečistot, pórů a nízké tepelné deformace okolního materiálu.

Nevýhodou u svařování hliníku laserem je vysoká odrazivost. Je zapotřebí používat laser s vysokou energií, provádět zdrsňení povrchu nebo nanášet na povrch matný lak. Vzhledem k vysoké hustotě energie nejsou na čistotu povrchu svařovaných materiálů kladeny zvláštní požadavky, poněvadž veškeré tuky a nečistoty jsou před natavením svarové lázně odpařeny. Optimální mezera mezi svařovanými materiály je přibližně stejná jako u svazku elektronů a pohybuje se mezi 0,05 až 0,2 mm, u tenkých plechů v tisícinách mm [4, 28].



Obr. 7.5 Laserové svařování s předehřevem [28]

### 7.3.1 Výhody svařování laserem

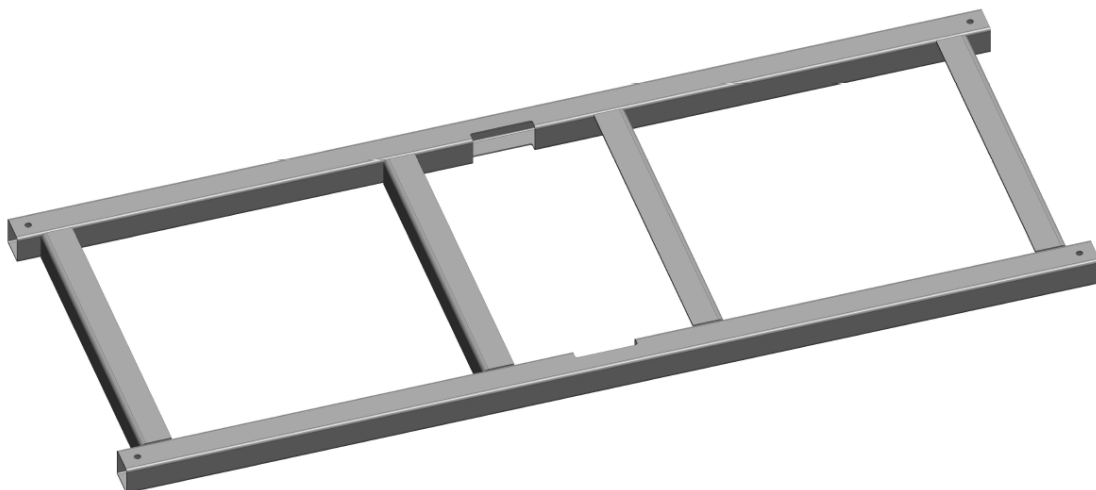
Lasery mají vysokou procesní stabilitu a rychlost. Z toho plyne, že jsou vhodné pro sériovou výrobu. Provoz laseru je čistý, bez potřeby přídavných materiálů a odpadů. Způsobují hladký, symetrický svarový spoj bez porozit. Zplodiny lze snadno a účinně odsávat. Svařování laserem umožňuje vysokou přesnost, ovlivňuje jen oblast svaru a tepelně nezasahuje do oblasti mimo svar. Nastává zde možnost svařovat tloušťky od několika mikrometrů až do 15 mm, také můžeme variabilně upravovat ohniskové vzdálenosti až na 1,6 m. V automobilovém průmyslu lze svařovat tenké plechy bez ochranné atmosféry.

Provoz laseru je tichý, hluboko pod hranicí hluku konvenčních technologií. Laserový svazek lze dělit na různá pracovní místa soustavou zrcadel a hranolů. Při laserovém svařování není ve většině případů zapotřebí používat přídavný materiál [4, 28].

## 8 Konstrukce svařovacího přípravku

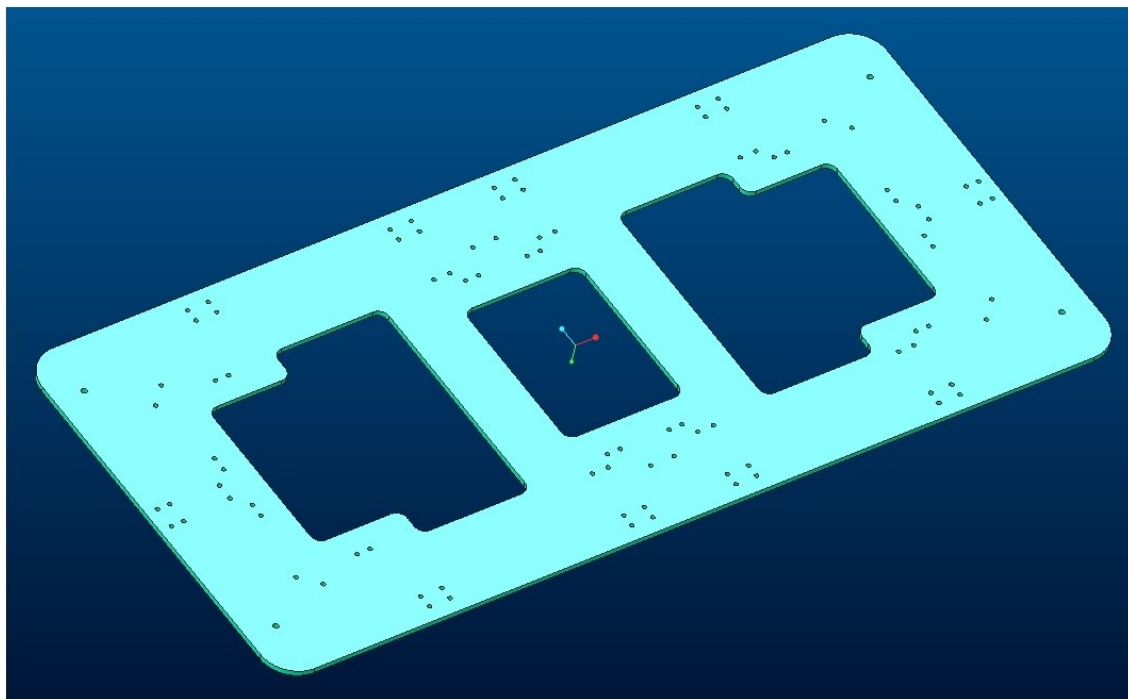
Při navrhování svařovacího přípravku je důraz kladen na přesnost, ale i hospodárnost. Úspory dosažené přípravkem musí být větší, než jsou pořizovací náklady. Také životnost přípravku dále ovlivňuje tyto úspory. Při konstruování se tudíž musí vzít v úvahu, jestli je přípravek vyráběn pro kusovou, malosériovou nebo velkosériovou výrobu. Před navržením přípravku je důležité ujasnit si pracovní postup vyráběné součásti. Přípravek musí být tuhý, hlavně pokud se používá tam, kde na něj působí nějaké okolní síly, a chceme, aby odolal namáhání a následné deformaci [1, 2].

V našem případě na přípravek nepůsobí vnější síly, ale je kladen důraz na pevné upnutí, protože se přípravek před svařováním skládá ze dvou dílů, které musí být přesně a pevně upnuty v rovině. Poloha přípravku má být zajištěna nejlépe pevnými dorazy a měla by umožňovat jednoduchou a pohodlnou obsluhu při výměně dalších součástí. Při navrhování přípravku je vhodné myslet rovněž na hmotnost celkového přípravku pro usnadnění manipulace s přípravkem. I když v našem případě se nebude manipulovat s přípravkem při pracovních úkonech, přesto můžeme myslet na přenášení přípravku mezi pracovišti nebo na přenášení přípravku z pracoviště do skladu přípravků. Základ přípravku tvoří svařovaný rám skládající se z ocelových profilů, viz obr. 8.1



*Obr. 8.1 Základový rám*

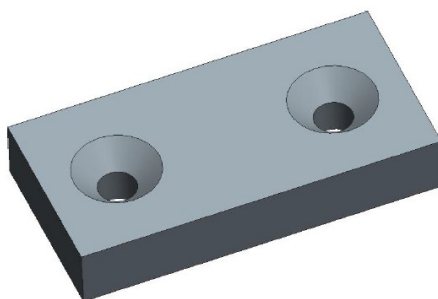
K základovému rámu je připojena šrouby základová deska, obr. 8.2, která slouží k připevnění všech ostatních součástí, jako jsou např. dorazové kostky, podložky, upínky. Základová deska obsahuje výřezy, které slouží k odlehčení.



*Obr. 8.2 Základová deska*

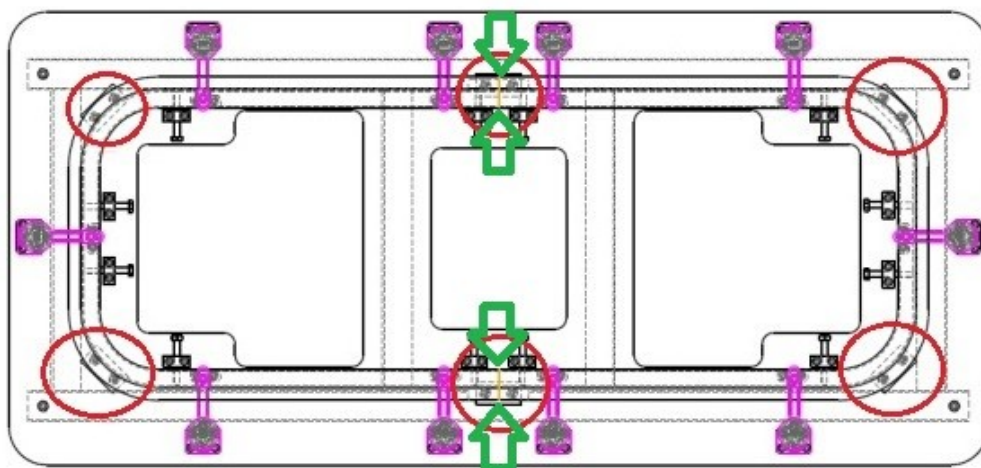
### **8.1 Ustavení svařované součásti**

Ustavení přípravku je nejprve řešeno na nerezových podložkách, aby nedocházelo k ovlivňování hliníkového rámečku jinými materiály. Podložky jsou umístěny v rozích a uprostřed okenního rámu, aby vše bylo v dostatečné rovině. Na obr. 8.4 je rozložení nízkých nerezových podložek označeno červenou barvou. Stanovenou operací je svařování dvou ohnutých profilů v místech označených zelenými šipkami.



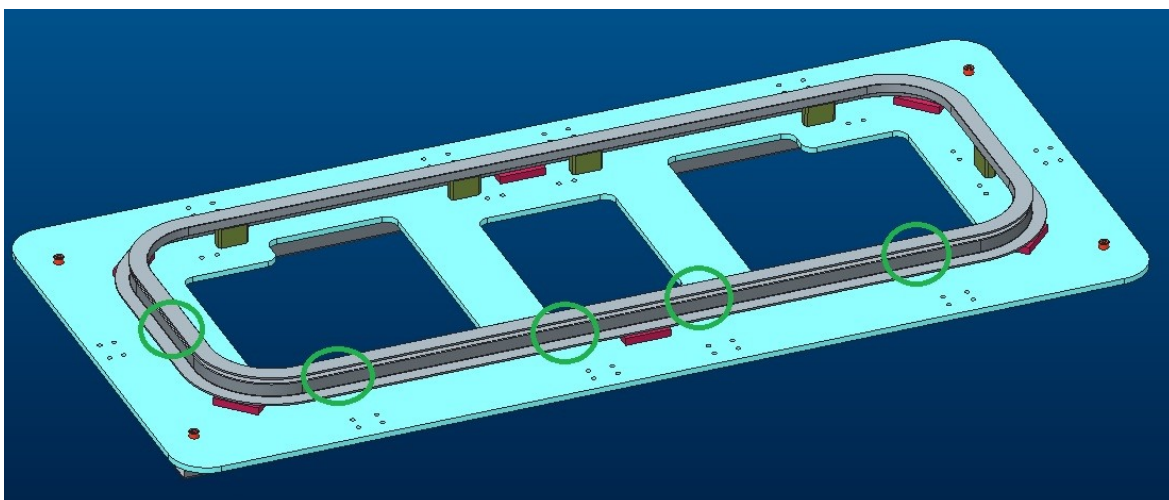
*Obr. 8.3 Nerezová podložka*



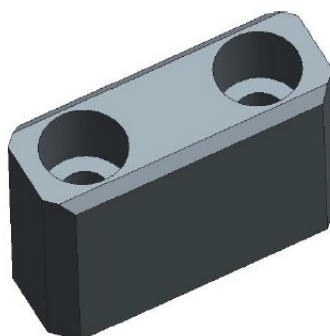


*Obr. 8.4 Rozložení nerezových podložek*

Druhou část správného usazení tvoří vysoké nerezové podložky pro vyztužení hliníkového profilu. Ty jsou označeny na obr. 8.5 zelenou barvou. Vysoké nerezové podložky jsou upevněny zapuštěnými šrouby v základové desce.



*Obr. 8.5 Rozložení vysokých nerezových podložek*



*Obr. 8.6 Vysoká nerezová podložka*

## 8.2 Vysvětlení použití nerezových podložek

Nerezové podložky jsou použity hlavně kvůli mezikrystalové exfoliaci. Jedná se o exfoliační korozi, která vzniká už při skladování materiálů oceli a hliníku a nastává v případě, kdy se materiály navzájem dotýkají. Pokud by tyto materiály byly v takovém spojení i během svařování, účinky exfoliační koroze by byly ještě větší. Exfoliace je někdy popisována jako rozvrstvená koroze. V tomto typu koroze pokračuje napadení podél selektivních podpovrchových cest paralelně s povrchem. Exfoliace je speciální typ mezikrystalové koroze, která se vyskytuje na podlouhlých hranicích zrn. Korozní produkt, který ji tvoří, má větší objem, než je objem základního kovu. Zvýšený objem nutí vrstvy tlačit od sebe a způsobí loupání kovu. Hliníkové slitiny jsou zvláště citlivé na tento druh koroze. Nejvíce tuto korozi způsobuje tropické mořské prostředí. Bránit se dá proti vrstevnaté korozi použitím nátěrových hmot nebo výběrem odolnější hliníkové slitiny proti exfoliaci [25].



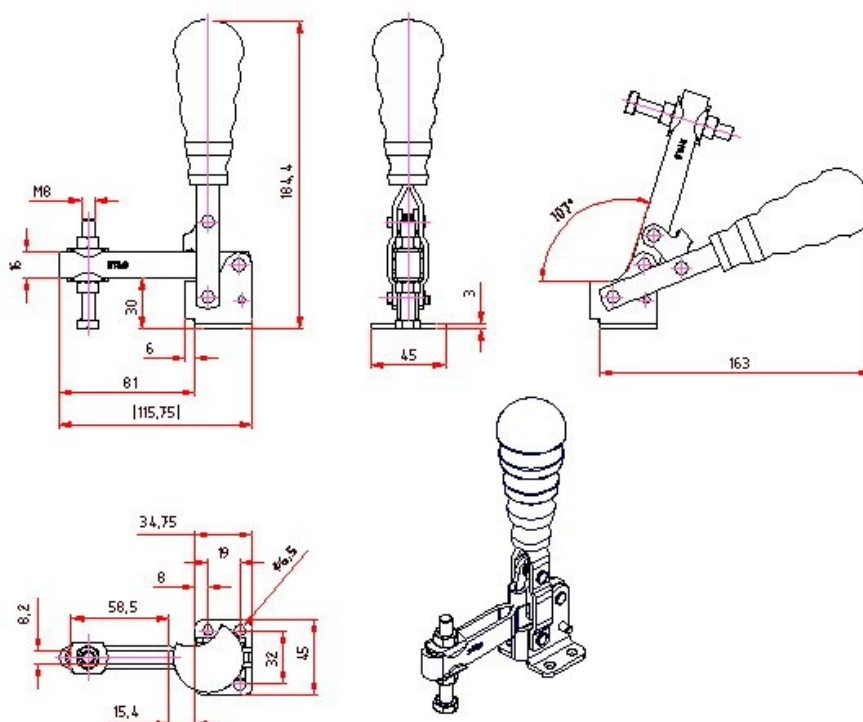
*Obr. 8.7 Exfoliační koroze [26]*

Hliník jako samostatný materiál má velmi dobrou odolnost proti korozi ve většině prostředí. Je to především proto, že hliník spontánně tvoří tenkou, ale účinnou vrstvu oxidu, který zabraňuje další oxidaci. Oxid hlinitý je nepropustný, a na rozdíl od vrstvy oxidu na mnoha jiných kovech, silně přilne na základní kov. Pokud se vrstva oxidu hlinitého mechanicky poškodí, má schopnost se obnovit. Tato vrstva oxidu je jedním z hlavních důvodů, proč hliník disponuje dobrými korozními vlastnostmi. Vrstva je stabilní v obecném prostředí o rozmezí pH 4–9 [27].



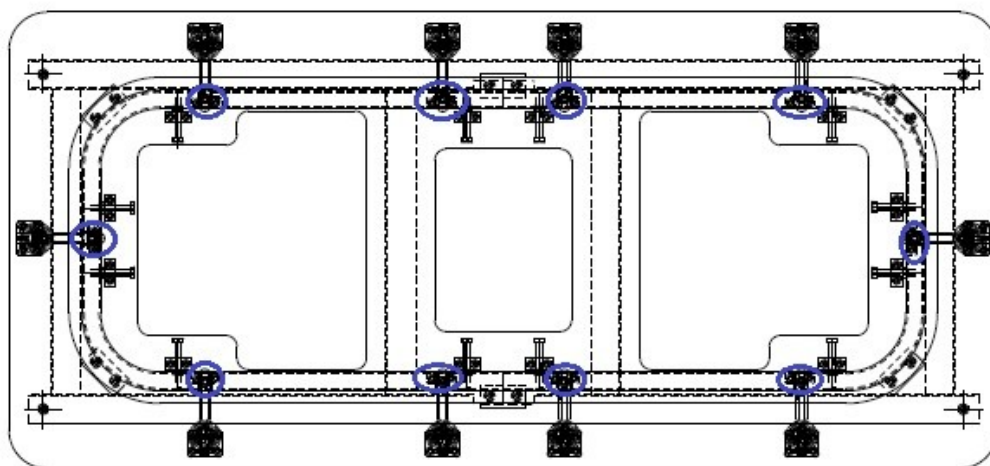
### 8.3 Rozbor upnutí svařované součásti

Upnutí je řešeno svislými upínkami 213.1 od firmy Zamet. Rukojeť této řady upínek je v zavřeném stavu upínky ve svislé poloze. Všechny typy jsou vybaveny nerezovými nýty a kalenými ložiskovými pouzdry. Samozřejmostí je plastová, ergonomicky tvarovaná, olejivzdorná rukojeť. Tyto typy mají upínací nohu v přímém provedení. Používá se pro fixaci polohy při svařování, obrábění a pro montážní a zkušební přípravky. Maximální upínací sílu tvoří 1700 N [6].



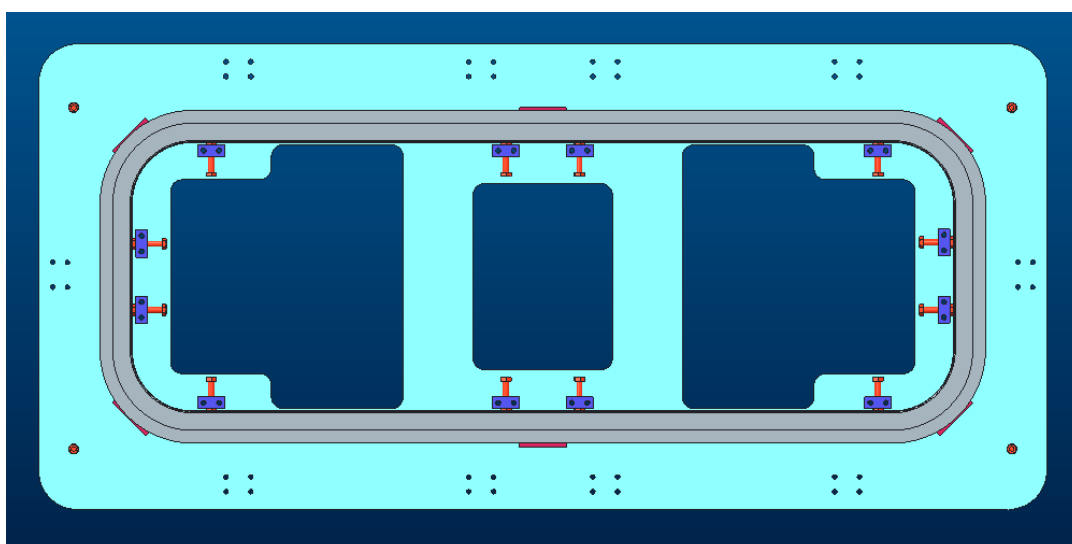
Obr. 8.8 Svislá upínka 213.0 [6]

Upínky jsou rovnoměrně rozprostřeny po ploše okenního rámu. Jedna upínka může vytvářet maximální upínací sílu 1700 N. Upínek je deset a síly těchto upínek působí v místech, které jsou znázorněny na obr. 8.9 modrou barvou. Celková maximální síla, kterou mohou všechny upínky dohromady vytvořit, je 17 000 N. Tímto je zajištěno rovnoměrné a pevné uchycení dvou částí okenního rámu tak, aby došlo k dokonalému svaření. Upínky nevytváří deformaci, protože jsem je navrhoval naproti podložkám nebo co nejblíže aby se vytvářelo co nejmenší rameno průhybu.

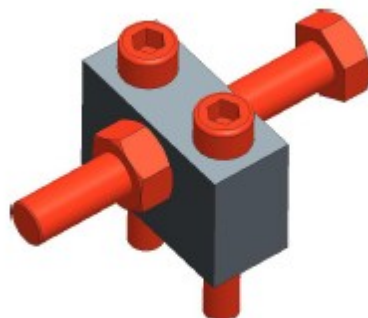


*Obr. 8.9 Rozložení sil upínek*

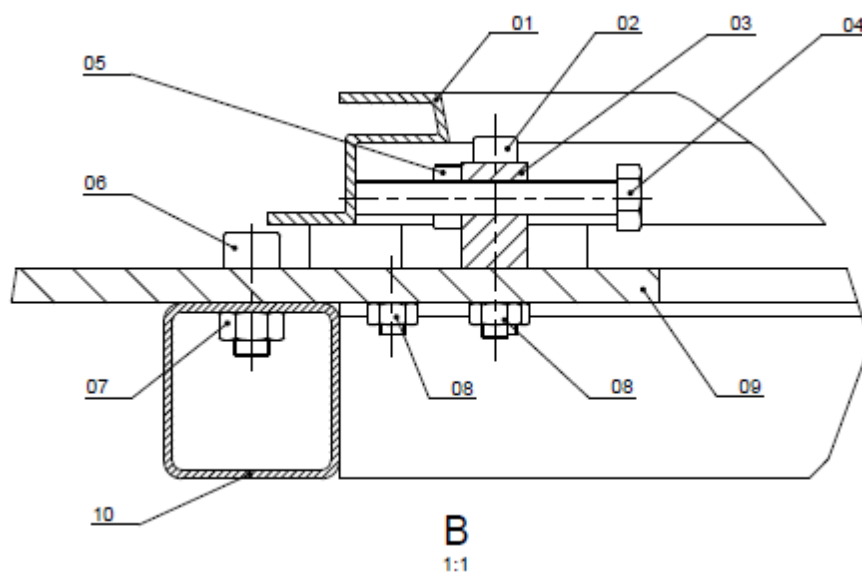
Pro upnutí do stran a vycentrování svařovaného okenního rámu jsou navrženy upevňovací elementy obsahující kostku s maticí a se šrouby, které se utáhnutím dorazí ke hraně profilu a umožní tím dostatečné upevnění z boční strany. Upínací elementy jsou označeny na obr. 8. 10 modrou barvou.



*Obr. 8.10 Rozložení upínacích elementů*



*Obr. 8.11 Upínací element*

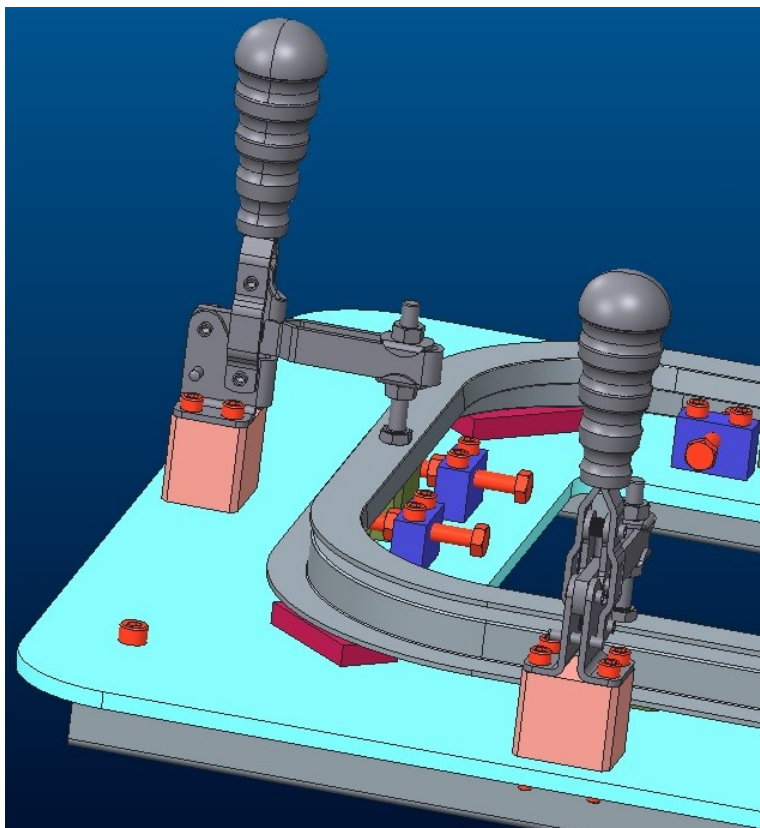


Obr. 8.12 Řez upínacím elementem

Na detailu B můžeme vidět v pozici:

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| 1 – okenní rám          | 6 – šroub M8x20 DIN912  |
| 2 – šroub M6x40 DIN912  | 7 – matice M8 DIN 934 0 |
| 3 – dorazová kostka     | 8 – matice M6 DIN934    |
| 4 – šroub M8x60 DIN933  | 9 – základová deska     |
| 5 – matice M8 DIN 934 0 | 10 – profil L= 1250     |

Celkovou konstrukci zakončuje upínka vypodložená kostkou, vše je spojeno a upevněno šrouby s maticí. Výška kostky je totožná s výškou okenního rámu, pod kterým se nachází podložka.

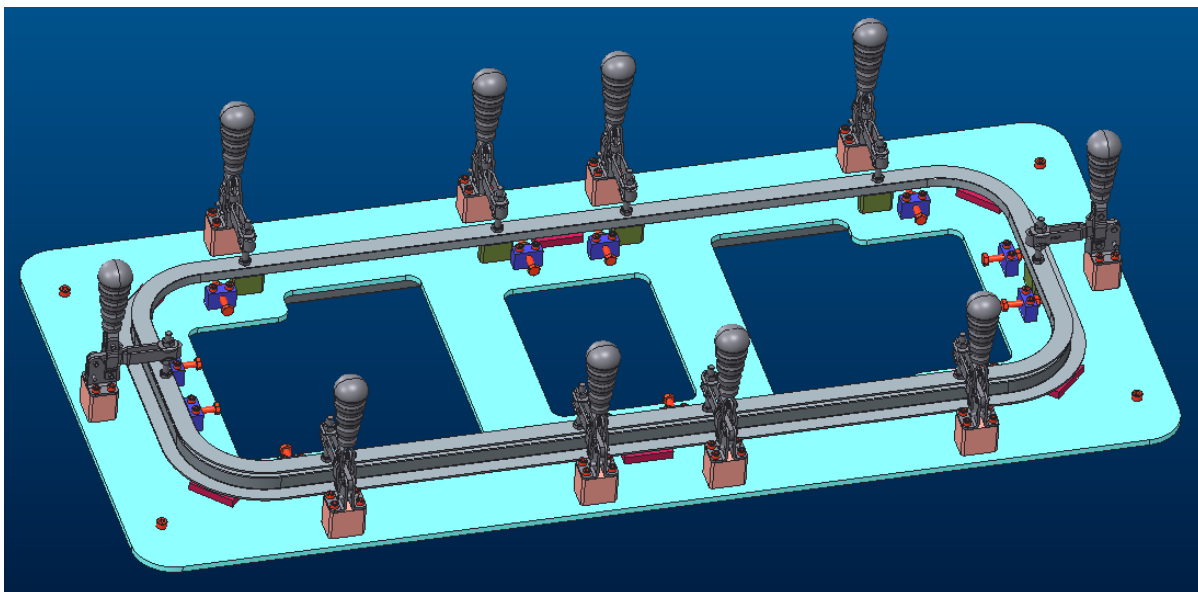


*Obr. 8.13 část zobrazení přípravku*

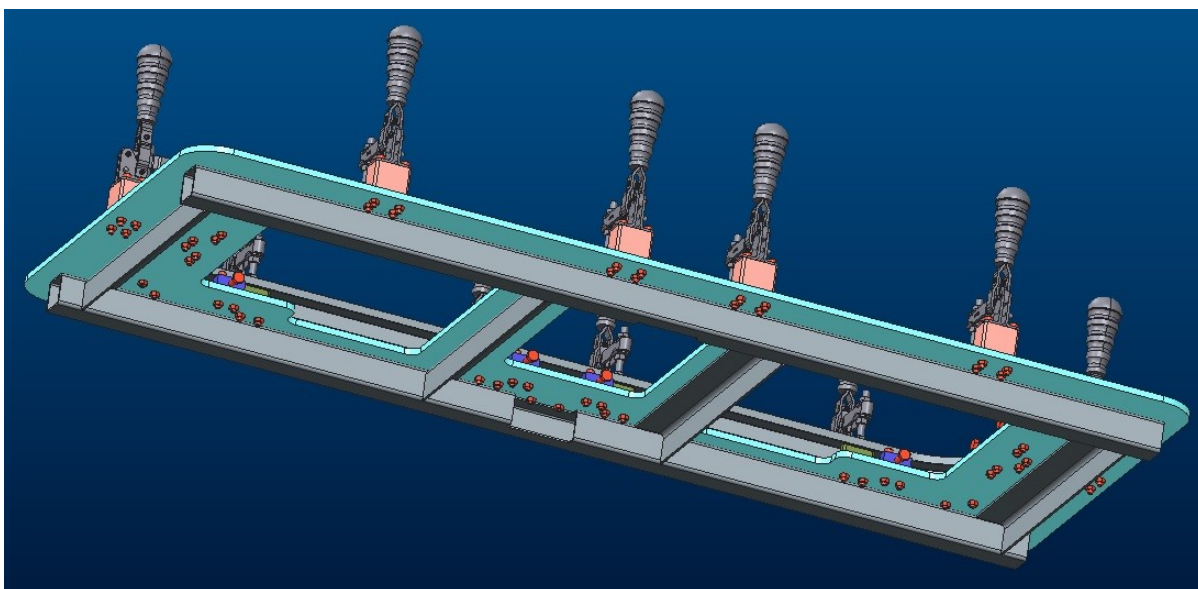
## 8.4 Volba materiálů součástí přípravku

*Tab. 8.1 Zvolené materiály*

NÁZEV	MATERIÁL
Základová deska	11 523 (S355J2G3)
Vysoká podložka	17 024 (X40Cr14)
Kostka	11 523 (S355J2G3)
Podložka	17 024 (X40Cr14)
Dorazová kostka	11 523 (S355J2G3)
Profil	11 375 (S235JRG2)



*Obr. 8.14 Celková konstrukce přípravku*

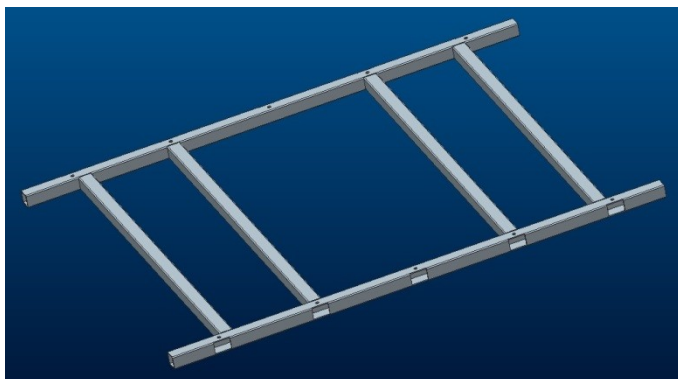


*Obr. 8.15 Celková konstrukce přípravku ze spodního pohledu*

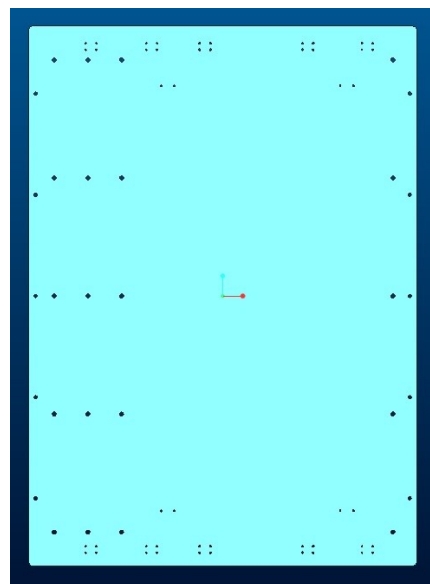
## 9 Návrh kontrolního přípravku

Kontrolní přípravky jsou určeny pro rychlou rozměrovou a tvarovou kontrolu vyráběných dílů. Používají se v mezioperační a výstupní fázi výroby. Mohou sloužit ke kontrole samostatných prvků, skupin i strojů [2].

U mého kontrolního přípravku podklad tvoří základový svařovaný rám z profilů o rozměrech 40x40x3 a hliníková deska s nerezovými a ocelovými prvky, které napomáhají odměřovacímu systému.

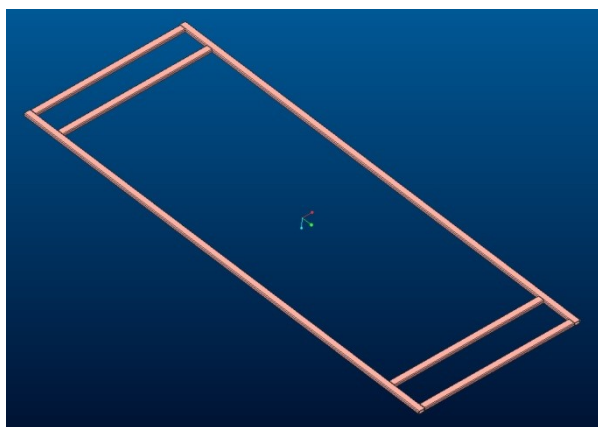


*Obr. 9.1 Základový svařovaný rám*

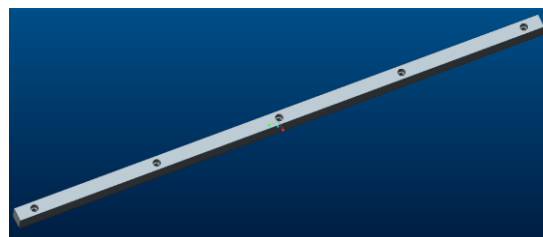


*Obr. 9.2 Nerezová deska*

Upínací svařovaný rám z profilů o rozměrech 20x20x2, který se vloží na okenní rám a to vše je upnuto svislými upínkami. Pro snadnější ustavení upínacího svařovaného rámu jsou k nerezové desce upevněny vystředňovací kolíky, na které se rám nasune a je zajištěna jeho pozice.



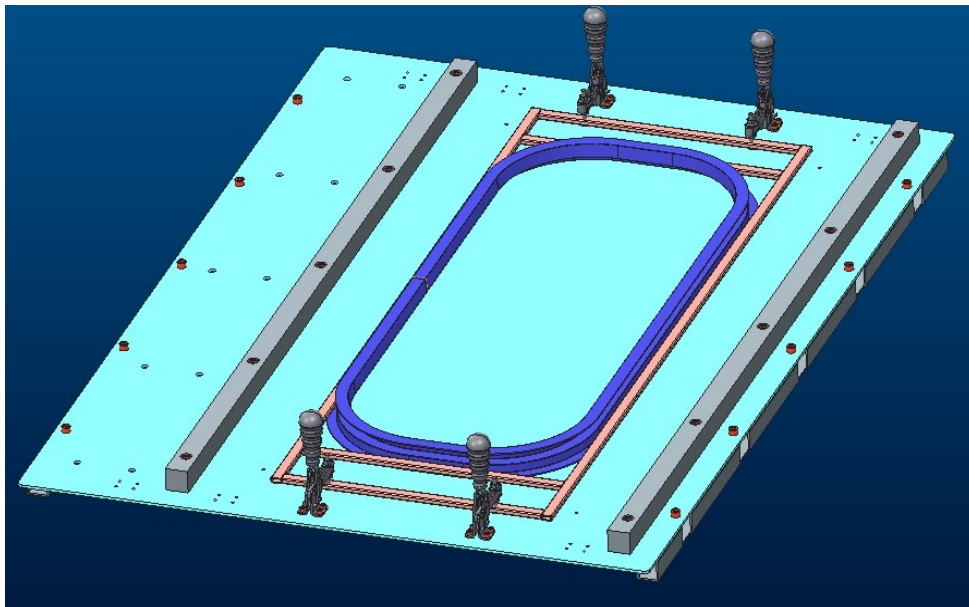
*Obr. 9.3 Upínací svařovaný rám*



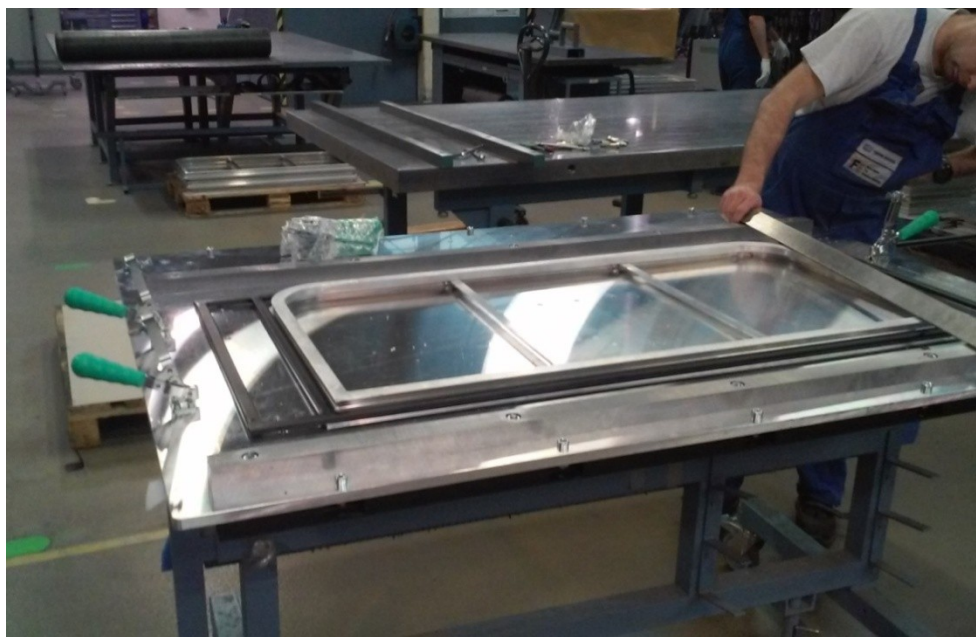
*Obr. 9.4 Nerezová lišta*



Přípravek ověřuje výšku okenního rámu, a jestli nejsou plochy v nějakém místě zdeformované, je navržen tak, aby se jím mohly kontrolovat i jiné druhy okenních ráků. Pro měření jiného okenního ráku se vymění nerezové lišty a upínací svařovaný rák. Pokud má okenní rák značně rozdílné rozměry oproti jiným okenním rákům, jsou vytvořeny předvrtané díry jak pro posouvání ocelových lišt do stran, tak pro změnu polohy upínek, aby docházelo k rovnoměrnému upnutí. Na okenním ráku měříme taky délku a šířku vnějšího i vnitřního profilu.



*Obr. 9.5 Konstrukce kontrolního přípravku varianta první*



*Obr. 9.6 Konstrukce přípravku v praxi sestavená pro jinou variantu ráku*

## 10 Technicko-ekonomické zhodnocení svařovacího přípravku

Hospodárnost konstrukce přípravku se určuje na základě výpočtu. Hospodárnost závisí na několika činitelích, z nichž nejdůležitější jsou roční úspory na mzdách a režii, cena zařízení s náklady na jeho údržbu či opravy. Zařízení je hospodárně využito, když  $X \geq 1$  [5].

Pro zařízení jsme volili hospodárnou konstrukci bez zbytečných složitých ploch tak, aby bylo možné vyrobit zařízení s nejmenšími náklady, a přitom jsme nezasáhli do funkčnosti, která by ovlivnila kvalitu vyrobené součásti.

Během navrhování přípravku jsem bral na zřetel, že bude sloužit pro výrobu sériových dílů a to minimálně 120 ks za rok.

### 10.1 Ekonomické informace o svařovacím přípravku [5]:

U – úspora na mzdě za jeden svařenec	U = 90 Kč/Ks
R – režie příslušného pracoviště	R = 10 %
n – počet výrobků za jeden rok	n = 120 ks
S – náklady na seřízení a upnutí	S = 3 000 Kč
k – součinitel odpisu a srážek	
C – cena zařízení	C = 20 000 Kč
T – počet roků zařízení v provozu	T = 5 let
h – náklady na údržbu a opravy v %	h = 10 %

Cena zařízení byla zjištěna z výsledných nákladů firmy, které jsme svěřili výrobu svařovacího přípravku. Úspora na mzdě za jeden svařenec se stanovila z rozdílu mezi mzdou za jeden svařenec vyráběný bez zařízení a mzdou za výrobek vyráběný se zařízením. Režie příslušného pracoviště jsou 1 000 Kč/h, což bylo převedeno na procenta. Náklady na seřízení byly stanovené změřením upnutí dvou profilů do svařovacího přípravku. Po vynásobení počtem kusů za rok vychází celkové upínání kusů na 3 h. Na levé straně vztahu (5) jsou úspory na mzdách a režii na jeden vyrobený kus a pravá strana jsou náklady na zařízení, údržbu vztažené opět na jeden vyrobený kus. [5]



## 10.2 Náklady na seřízení a upnutí

Čas upnutí a seřízení 1 ks = 1,5 min

Čas upnutí a seřízení 120 ks = 180 min = 3 h

Režie svařovacího pracoviště = 1000 Kč/h

$$S = \text{Čas upnutí a seřízení 120 ks} \cdot \text{Režie svařovacího pracoviště} \quad (1)$$

$$S = 3 \cdot 1000 = 3\,000 \text{ Kč}$$

## 10.2 Hospodárnost zařízení [5]

$$U(1 + R) \geq \frac{Ck + S}{n} \quad (2)$$

$$\text{kde } k = \frac{1}{T} + \frac{h}{100} \quad (3)$$

$$k = \frac{1}{T} + \frac{h}{100} = \frac{1}{5} + \frac{0.1}{100} = 0,201 \quad (4)$$

$$90(1 + 0,1) \geq \frac{20\,000 \cdot 0,201 + 3\,000}{120} \quad (5)$$

$$99 \geq 58,5$$

## 10.3 Stupeň hospodárnosti zařízení X [5]:

$$X = \frac{\text{Souhrn úspor}}{\text{Souhrn nákladů}} \quad (6)$$

$$X = \frac{99}{58,5} = 1,69$$

$X \geq 1 \Rightarrow$  podmínka splněna zařízení je hospodárně využito

## Závěr

Diplomová práce se zabývá zejména návrhem konstrukce přípravku pro svařování okenního rámu. Úvod se věnuje zadané svařované součásti, kterou je okenní rám automatických dveřních systémů kolejových vozidel. Součást se skládá ze dvou ohnutých profilů, kdy je použit materiál z hliníkové slitiny.

Před zahájením konstrukce svařovacího přípravku byl navržen ohýbací nástroj pro ohyb profilů, z nichž se skládá okenní rám. Výkres ohýbacího nástroje je doložen v příloze. Poté byla popsána metoda, již je svařovací přípravek svařován. Jedná se o metodu TIG, což je svařování netavicí se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu.

V další kapitole byla nastíněna problematika svařování hliníku, kde byly zachyceny možné specifikace, které by při svařování hliníkových slitin, v důsledku jejich vlastností, svařitelnosti a afinitě ke kyslíku, mohly nastat.

Jelikož se při svařování hliníkových slitin nepoužívá jen svařování metodou TIG, byly v následujících částech diplomové práce analyzovány i další druhy svařování, jako jsou např. svařování plamenem, svařování obalenou elektrodou, svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře Mig/Mag s jeho novými aspekty metodou STT – Surface tension transfer a CMT – Cold metal transfer, v neposlední řadě také plazmové svařování a laserové svařování.

Hliníkové slitiny již dnes najdeme prakticky ve všech oblastech lidské činnosti. Z těchto slitin se vyrábějí vlaky, automobily, letadla a všechny ostatní konstrukce, kdy je zapotřebí dobrá korozivzdornost, velká pevnost s co nejmenší hmotnostní zátěží.

Záměrem diplomové práce bylo navržení a zrealizování konstrukce svařovacího přípravku. Stěžejní část práce tudíž obsahuje popis konstrukce, ustavení svařované součásti, rozbor upnutí a zvolené materiály. Svařovací přípravek byl prakticky realizován a používá se ve výrobě firmy IFE-CR, a.s.

Důležitým doplněním práce bylo dále navržení konstrukce kontrolního přípravku pro okenní rám. Tato konstrukce byla rovněž vyrobena a v současnosti je používána ke kontrole okenních rámců. Díky tomu, že je zhotovena tak, aby vyhovovala různým druhům rámců, může být dlouhodobě a variabilně využita.

Celá práce je zakončena ekonomickým zhodnocením svařovacího přípravku a doplněna i příslušnou výkresovou dokumentací.

### **Poděkování za pomoc při řešení diplomové práce**

Děkuji tímto panu prof. Dr. Ing. Ivanu Mrkvicovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Poděkování také patří Ing. Jaroslavu Krejčíkovi a jeho kolegům z IFE-CR, a.s. za odborné rady technického směru.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] MRKVICA, Miloš. *Přípravky a obráběcí nástroje*. 3. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2001, 188 s. ISBN 80-7078-941-7.
- [2] MRKVICA, Miloš. *Přípravky a obráběcí nástroje*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1988.
- [3] *Dělení a svařování svazkem plazmatu* [online]. Brno: RNDr. Libor Mrňa, Ph.D. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory\\_soubory/hsv\\_\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_\\_deleni\\_a\\_svarovani\\_plasmou\\_2013\\_\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/hsv__specialni_metody_svarovani__deleni_a_svarovani_plasmou_2013__mrna.pdf)
- [4] Technologie využívající laser. *Ust.fme.vutbr* [online]. RNDr. Libor Mrňa, Ph.D. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory\\_soubory/hsv\\_\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_\\_svarovani\\_laserem\\_2013\\_\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/hsv__specialni_metody_svarovani__svarovani_laserem_2013__mrna.pdf)
- [5] CHVÁLA, Břetislav a Josef VOTAVA. *Přípravky: celostátní vysokoškolská učebnice pro strojní fakulty vysokých škol technických*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 19
- [6] Svislé upínky. *Zamet* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.zamet.cz/cz/14-detail-produktu/2-svisle/57-svisle-upinky.html>
- [7] Hliníkové materiály a možnosti jejich svařování. *Svarbazar* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/storage/hlinik.pdf>
- [8] Ušlechtilé uhlíkové konstrukční oceli. *Tumlikovo* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/uslechtile-uhlikove-konstrukcni-oceli-tridy-12-jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/>
- [9] Standardně používané Al slitiny. *Strojmetal* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.strojmetal.cz/tabulka-slitin>
- [10] Společnos IFE-CR. *Linkedin* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: [https://www.linkedin.com/company/ife-brno?trk=company\\_logo](https://www.linkedin.com/company/ife-brno?trk=company_logo)
- [11] Ohýbací stroje. *Mkmont* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.mkmont.cz/CZ/5-63/strojni-a-zamecnicka-vyroba/ohybaci-stroje/>
- [12] Ohýbání. *Sossoukyjov* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: [http://www.sossoukyjov.cz/data/file/K\\_technologie/VY\\_32\\_INOVACE\\_3c/VY\\_32\\_INOVACE\\_3c19.pdf](http://www.sossoukyjov.cz/data/file/K_technologie/VY_32_INOVACE_3c/VY_32_INOVACE_3c19.pdf)

- [13] Akademie tváření: Ohýbání. *Mmspektrum* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: [http://www.mmspektrum.com/content/100716\\_Akademie\\_tva%C5%99eni\\_oh%C3%BDb%C3%A1n%C3%AD\(1\).pdf](http://www.mmspektrum.com/content/100716_Akademie_tva%C5%99eni_oh%C3%BDb%C3%A1n%C3%AD(1).pdf)
- [14] Innovations For Entrance Systems. *Ife* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://ife.cz/cz/>
- [15] Wolframové elektrody pro TIG svařování. *Svarbazar* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2006111201>
- [16] Železniční aplikace - Svařování železničních kolejových vozidel a jejich částí. *Technicke normy čsn* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: [http://www.technicke-normy-csn.cz/284401-csn-en-15085-3\\_4\\_80771.html](http://www.technicke-normy-csn.cz/284401-csn-en-15085-3_4_80771.html)
- [17] Nejrychlejší vlak v Evropě. *Ife.cz* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: [http://www.ife.cz/media/documents/ife\\_cr/Zefiro.pdf](http://www.ife.cz/media/documents/ife_cr/Zefiro.pdf)
- [18] KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie II. - svařování: sylabus díl 1* [online]. Brno, 2006 [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory.htm>
- [19] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2790-6.
- [20] PLACHÝ, Jan a Milan NĚMEC. *Metalurgie a technologie slévárenských slitin*. 2. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1993.
- [21] Hliník. *Prvky* [online]. 2016 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/13.html>
- [22] Technologie svařování hliníku a jeho slitin. *Hadyna* [online]. Ostrava: Hajdík Jiří, 2016 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: [http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Svar\\_hlinik1\\_2007.pdf](http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Svar_hlinik1_2007.pdf)
- [23] Svařování hliníku. *Kovodvorak* [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://kovodvorak.cz/>
- [24] *Svařování MIG* [online]. In: *Kaspo-Orcar*. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.medved-blok.cz/img/vyroba-svarovani.jpg>

- [25] Different types of corrosion. *Corrosionclinic* [online]. Webcorr, 1995 [cit. 2016-0404]. Dostupné z: [http://www.corrosionclinic.com/types\\_of\\_corrosion/aluminium\\_exfoliation\\_corrosion.htm](http://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/aluminium_exfoliation_corrosion.htm)
- [26] Corrosion. In: *Faculty.kfupm.edu.sa* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://faculty.kfupm.edu.sa/CHEM/mkhaled/corrosion.htm>
- [27] Aluminium Corrosion Resistance. *Aluminiumdesign* [online]. 2016 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.aluminiumdesign.net/design-support/aluminium-corrosion-resistance/#toc-galvanic-corrosion>
- [28] KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie II. - svařování: sylabus díl 2* [online]. Brno, 2006 [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory.htm>
- [29] Možné dělení typů, druhu laseru. *It.cz* [online]. Leonardo technology s.r.o., 2013 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.lt.cz/cs/znaceni-laserem-solaris/lasery-info-learning?start=5>
- [30] KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. 1. vyd. Ostrava: Český svářečský ústav, 2009. ISBN 978-80-248-2025-5.
- [31] Svařovací metody. *Schinkmann* [online]. 1991 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.schinkmann.cz/svarovaci-metody>
- [32] Plazmové svařování. *Homen.vsb* [online]. Brno [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/2-01-15.pdf>
- [33] Značení hliníku a jeho slitin. *Begroup* [online]. Ostrava, 2016 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.begroup.com/cz/BE-Group-Czech-Republic/Produkty/Hlinik-1/znaeni-hliniku-a-jeho-slitin-v-stav/>
- [34] Surface Tension Transfer (STT). *Lincolnelectric.com* [online]. The Lincoln Electric Company, 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.lincolnelectric.com/en-gb/support/process-and-theory/Pages/stt-pipe-welding-detail.aspx>
- [35] CMT-Welding. *Fronius.com* [online]. Fronius International GmbH, 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: [https://www.fronius.com/cps/rde/xchg/fronius\\_international/hs.xsl/79\\_9399\\_ENG\\_HTML.htm#.VyirXDFApIc](https://www.fronius.com/cps/rde/xchg/fronius_international/hs.xsl/79_9399_ENG_HTML.htm#.VyirXDFApIc)

## Seznam obrázků

- Obr. 1 Rychlovlak
- Obr. 1.1 Model okenního rámu
- Obr. 1.2 Část z výkresu okenního rámu
- Obr. 1.3 Detaily svarů
- Obr. 2.1 Švýcarský vlak s nástupními systémy IFE jedoucí po Rhétské dráze
- Obr. 2.2 Vlak jezdící napříč Londýnem vybavený nástupními systémy IFE
- Obr. 2.3 Frecciarossa 1000, vlak jezdící po trati Miláno-Řím
- Obr. 4.1 Model nástroje na ohýbání
- Obr. 4.2 Ukázka ohýbacího stroje
- Obr. 4.3 Ovládací panel
- Obr. 5.1 Princip svařování netavící se elektrodou v inertním plynu – TIG
- Obr. 5.2 Základní poloha svařování metodou TIG
- Obr. 6.1 Rozdělení slitin
- Obr. 6.2 Svařování hliníku
- Obr. 7.1 Svařování MIG
- Obr. 7.2 Průběh svařovacího proudu a napětí při STT svařování
- Obr. 7.3 Princip spojování CMT
- Obr. 7.4 Robotické svařování karoserie automobilu plynovým laserem
- Obr. 7.5 Laserové svařování s předehtím
- Obr. 8.1 Základový rám
- Obr. 8.2 Základová deska
- Obr. 8.3 Nerezová podložka
- Obr. 8.4 Rozložení nerezových podložek
- Obr. 8.5 Rozložení vysokých nerezových podložek
- Obr. 8.6 Vysoká nerezová podložka
- Obr. 8.7 Exfoliační koroze
- Obr. 8.8 Svislá upínka
- Obr. 8.9 Rozložení upínek
- Obr. 8.10 Rozložení upínacích elementů
- Obr. 8.11 Upínací element
- Obr. 8.12 Řez upínacím elementem
- Obr. 8.13 Část zobrazení přípravku
- Obr. 8.14 Celková konstrukce přípravku
- Obr. 8.15 Celková konstrukce přípravku ze spodního pohledu



Obr. 9.1 Základový svařovaný rám

Obr. 9.2 Hliníková deska

Obr. 9.3 Meziupínací element

Obr. 9.4 Ocelová lišta

Obr. 9.5 Konstrukce kontrolního přípravku varianta první

Obr. 9.6 Konstrukce kontrolního přípravku v praxi

## **Seznam tabulek**

Tab. 3.1 Výrobní postup okenního rámu pro dveřní křídlo kolejového vozidla

Tab. 6.1 Fyzikální a mechanické vlastnosti čistého hliníku

Tab. 8.1 Zvolené materiály

## Seznam příloh

### Svařovací přípravek

Příloha č. 1	Výkres sestavy DV 00 – Svařovací přípravek
Příloha č. 2	Výrobní výkres DV 01 – Základová deska
Příloha č. 3	Výrobní výkres DV 02 – Vysoká podložka
Příloha č. 4	Výrobní výkres DV 03 – Kostka
Příloha č. 5	Výrobní výkres DV 04 – Podložka
Příloha č. 6	Výrobní výkres DV 05 – Dorazová kostka
Příloha č. 7	Výkres podsestavy DV 06 – Základový rám
Příloha č. 8	Výrobní výkres DV 07 – Profil L = 400
Příloha č. 9	Výkres podsestavy DV 08 – Profil L = 1250
Příloha č. 10	Kusovník Svařovacího přípravku

### Měřicí přípravek

Příloha č. 11	Výkres sestavy DK 00 – Měřicí přípravek
Příloha č. 12	Výrobní výkres DK 01 – Měřicí lišta
Příloha č. 13	Výrobní výkres DK 02 – Deska
Příloha č. 14	Výrobní výkres DK 03 – Profil 40x40x3-1070
Příloha č. 15	Výrobní výkres DK 04 – Profil 40x40x3-1500
Příloha č. 16	Výrobní výkres DK 05 – Profil 20x10x2-472
Příloha č. 17	Výkres podsestavy DK 06 – Svařovaný rám
Příloha č. 18	Výkres podsestavy DK 07 – Svařovaný rám 2
Příloha č. 19	Výrobní výkres DK 08 – Profil 20x10x2-550
Příloha č. 20	Výrobní výkres DK 09 – Kolík
Příloha č. 21	Výrobní výkres DK 10 – Profil 20x10x2-1350
Příloha č. 22	Výrobní výkres DK 11 – Měřicí lišta
Příloha č. 23	Kusovník měřícího přípravku

**Ohýbací nástroj**

Příloha č. 24 Výkres sestavy DN 00 – Rolna

Příloha č. 25 Výrobní výkres DN 01 – Rolna

**Výkres okenního rámu**

Příloha č. 26 Výrobní výkres TD1727R01

## **Poděkování**

Práce byla podpořena ze Studentské grantové soutěže Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava v rámci projektu SP2016/172 Vliv technologických parametrů na obrobený povrch a SP2016/174 Studium procesu obrábění progresivních materiálů s cílem zvýšit a podpořit vědecko-výzkumné aktivity studentů doktorských a magisterských studijních programů ve spolupráci s akademickými pracovníky.